

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



Bescheinigung



Die Firma Carl Zeiss in Heidenheim an der Brenz/Deutschland hat eine Patentanmeldung unter der Bezeichnung

"EUV-Beleuchtungssystem"

am 5. Mai 1998 beim Deutschen Patent- und Markenamt eingereicht.

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

Die Anmeldung hat im Deutschen Patent- und Markenamt vorläufig die Symbole G 21 K, G 03 F und G 02 B der Internationalen Patentklassifikation erhalten.

München, den 12. Februar 1999

Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident

Im Auftrag

Aktenzeichen: 198 19 898.1

Brand

EUV-Beleuchtungssystem

Die Erfindung betrifft ein Beleuchtungssystem gemäß dem Oberbegriff des Anspruches 1 und eine Projektionsbelichtungsanlage damit.

Der bekannte Stand der Technik ist im Punkt 13. dargestellt.

Die Aufgabe der Erfindung ist die Bereitstellung eines Beleuchtungssystems vom Köhler'schen Typ, das nur Spiegel, und davon möglichst wenige und fertigungstechnisch gut beherrschbare, aufweist und insbesondere EUV-Lithographie-tauglich ist.

Gelöst wird diese Aufgabe durch ein Beleuchtungssystem nach Anspruch 1, 10 oder 11.

Vorteilhafte Weiterbildungen sind Gegenstand der Unteransprüche 2 bis 9 und 12 bis 30.

Ein erfindungsgemäßes Projektionsbelichtungssystem ist Gegenstand der Ansprüche 31 bis 37.

Neben der folgenden Beschreibung ist auch der Inhalt der zitierten Schriften als Teil der Offenbarung anzusehen.

Beleuchtungssystem für eine Laser-Plasma-Quelle: Tele-Wabenkondensor mit grazing incidence Feldlinse

1. Zusammenfassung.	3
2. Vorgaben und Anforderungen an ein Ausführungsbeispiel des Beleuchtungssystems.	5
3. Grundidee.	5
4. Merkmale des Tele-Wabenkondensors.	6
5. Aufbau des Systems.	7
5.1 Prinzipielles zum Wabenkondensor im konvergenten Strahlengang.	7
5.2 Form der Waben und Anordnung der Platten im Strahlengang.	8
5.3 Tele-Wabenkondensor.	9
5.4 Notwendigkeit einer 2. Wabenplatte?	11
5.5 Feldlinse.	11
6. Ausführungsbeispiel 1: Tele-Wabenkondensor.	13
6.1. Systemparameter.	13
6.2. Design-Beschreibung anhand der Abbildungen.	14
6.3. Ausbaumöglichkeiten des realisierten Designs.	15
7. Ausführungsbeispiel 2: Planfacetten-Wabenkondensor.	16
7.1. Merkmale des Planfacetten-Wabenkondensors.	16
7.2. Aufbau des Planfacetten-Wakos.	16

7.3. Systemparameter.	19
7.4. Realisiertes Design.	21
7.5. Design-Beschreibung anhand der Abbildungen.	22
7.6. Ausbaumöglichkeiten des realisierten Designs.	23
8. Design-Varianten.	23
8.1 Waben mit prismatischen Anteilen („Fresnellinsen“ als Trägerflächen).	23
8.2 Designs für 1 Wabenplatte.	24
8.3 Zick-Zack-Strahlengang innerhalb der Wabenplatten.	25
8.4 Zwischenbild der Quelle.	26
8.5 Rückspiegel zur Steigerung des Sammelwirkungsgrades.	27
9. Variation des Beleuchtungssettings.	27
10. Belegungsaspekte.	27
11. Zerlegen des Systems in separate Baugruppen.	28
12. Vergleich mit bekannten Patent-Lösungen.	29
13. Stand der Technik.	30

Fig. 1-40

2. Vorgaben und Anforderungen an ein Ausführungsbeispiel des Beleuchtungssystems.

Vorgaben:

- Laser-Plasma-Quelle: Durchmesser $0.050\mu\text{m} - 0.200\mu\text{m}$.
- Ringfeld: $R = 100\text{mm}$, Segment $= 60^\circ$, Feldhöhe $\pm 3.0\text{mm}$ (ähnlich Jewell-Design).
- Lage der Eintrittspupille : $s_{EP} = 1927.4\text{mm}$. Dies entspricht einem Hauptstrahlwinkel von $i_{HS} = 2.97^\circ$ für $y_{Obj} = 100\text{mm}$.
- Apertur am Retikel: $NA = 0.025$.

Randbedingungen:

- Minimaler Abstand des 1. Spiegels von der Quelle: $d1 > 100\text{mm}$.
- Baulänge mit konventionellen Mitteln gut realisierbar ($< 2000\text{mm}$).

Anforderungen an das Beleuchtungssystem:

- Maximaler Sammelwirkungsgrad an der Quelle (Kugelstrahler!).
- Integrale Scanenergie unabhängig von der x-Koordinate quer zur Scan-Richtung.
- Feldunabhängige und homogene Pupillenausleuchtung.
- Erfüllen der Telezentrieanforderung.

3. Grundidee.

- Köhlersches Beleuchtungssystem:

Bei der Köhlerschen Beleuchtung wird die Quelle in die Pupille abgebildet. Dadurch ist man in gewissen Grenzen unabhängig von der Quellgröße. Die Quellgröße spiegelt sich dabei im Füllgrad der Pupille wieder. Der Sammelwirkungsgrad ist bei der Köhlerschen Beleuchtung nicht durch die Apertur am Retikel oder die Quellgröße begrenzt.

- Zum Aufnehmen der abgestrahlten Lichtleistung wird ein Ellipsoidspiegel verwendet, der das Licht der Kugelquelle in ein konvergentes Strahlbüschel umformt.

- Als Homogenisator und zur Erzeugung von sekundären Lichtquellen wird ein Wabenkondensor eingesetzt. Die Uniformität der Feldausleuchtung und die Verteilung der sekundären Lichtquellen ist durch die Anzahl und Anordnung der Waben gegeben. Falls es sich bei der Lichtquelle um eine hinreichend gute Punktlichtquelle handelt, kann auf die zweite Wabenplatte verzichtet werden, da sie nur für eine korrekte Büschelüberlagerung im Feld sorgt. Die Form des ausgeleuchteten Feldes ist durch die Form der einzelnen Waben auf der 1. Wabenplatte gegeben. Trotz des hohen Aspektverhältnisses der Einzelwaben kann durch zeilenweises Verschieben der Waben eine gleichmäßige Verteilung der sekundären Lichtquellen erreicht werden. Die Form der zweiten Waben (-falls erforderlich-) ist an die Form der sekundären Lichtquellen angepaßt (rund) und somit verschieden von der Form der ersten Waben.

• Zur Baulängenverkürzung wird ein reflektives Telesystem eingefügt. Dieses Telesystem kann mit dem Wabenkondensor gekoppelt werden, so daß keine weiteren Spiegel erforderlich sind. Ohne das Telesystem ist der Sammelwirkungsgrad durch die Baulänge begrenzt. Das Telesystem führt zudem dazu, die sekundären Lichtquellen auf der 2. Wabenplatte dichter zu packen. Die Telewirkung kann dadurch erzeugt werden, daß die Waben auf einer gekrümmten Trägerfläche angebracht sind oder daß jeder Wabe ein prismatischer Anteil überlagert wird.

- Als Feldlinse werden zwei grazing incidence Spiegel verwendet, die die zweite Wabenplatte (Pupillenebene) in die Eintrittspupille des Objektivs abbilden, das Ringfeld formen und die Beleuchtungsverteilung entsprechend den Anforderungen des Belichtungsprozesses erzeugen.

4. Merkmale des Tele-Wabenkondensors.

- großer Sammelwirkungsgrad ($>50\%$ bei 4π).
- Baulänge einstellbar (z.B. $< 2000\text{mm}$), nicht an Sammelwirkungsgrad geknüpft.
- gleichmäßige Pupillenfüllung
- Form der Teilpupillen ist rund und somit invariant gegen Drehungen.
- Feldabhängigkeit der Pupille ist gering und sollte sich bei der radialen Pupillenintegration herausmitteln.

- Zugänglichkeit der Blendenebene. (Verflochtener Strahlengang der Köhlerschen Beleuchtung).
- Die Quellgröße geht nicht in die Systemableitung ein. Vor allem ist die Ausdehnung des ausgeleuchteten Feldes unabhängig von der Quellgröße. Durch die Form der Waben können beliebige Felder realisiert werden.
- Effizienz des Systems :2-3 normal incidence, 2 grazing incidence Spiegel.

5. Aufbau des Systems.

5.1 Prinzipielles zum Wabenkondensor im konvergenten Strahlengang.

Der Kollektorspiegel (Ellipsoid) bildet die Lichtquelle auf das Retikel ab. In den konvergenten Strahlengang werden nun die Wabenplatten eingeführt, die entsprechend der Konvergenz der Strahlen zueinander skaliert sind.

Einen Wabenkondensor in den konvergenten Strahlengang einzufügen ist vor allem dann sinnvoll, wenn der Lichtleitwert (LLW) der Quelle für das zu beleuchtende Feld zu klein ist. Falls $LLW_{Quelle} = LLW_{Feld}$ würden sich die sekundären Lichtquellen überlagern.

Handelt es sich um plane Wabenplatten, so ist die Apertur in der Retikelebene ($NA_{Soll} = 0.025$) durch den Ellipsoidspiegel vorgegeben. Da der Abstand Quelle-Ellipsoidspiegel d_1 mindestens 100mm betragen sollte (Debris-Problem), ergibt sich ein fester Zusammenhang von Baulänge und Sammelwirkungsgrad (siehe Tabelle 1).

Baulänge sk	Sammelwinkel θ	Sammelwirkungsgrad $\eta(0^\circ-90^\circ)$
1000mm	14.3°	2%-12%
2000mm	28.1°	6%-24%
3000mm	41.1°	12%-35%
4000mm	53.1°	20%-45%
8000mm	90.0°	50%-71%

Tabelle 1

Bei einer vertretbaren Baulänge von 3000mm lassen sich also maximal 35% des angebotenen Lichts (4π) einsammeln.

Prinzipiell ist ein solcher Aufbau möglich. Die reflektiven Wabenplatten sind dabei so gekippt, daß es zu keinen Vignettierungen kommt.

5.2 Form der Waben und Anordnung der Platten im Strahlengang.

Die Form der Waben der ersten Wabenplatte entspricht der Form des Feldes. Bei der Bestimmung der Wabengröße wird der Feldbogen zu einem Rechteck aufgezogen.

In den ausgeführten Beispielen wird mit folgenden Feld- und Wabengrößen gerechnet:

● Rechteckfeld am Retikel: $x = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot 60^\circ / 360^\circ = 104.7\text{mm} \approx 105\text{mm}$.

$y = 6\text{mm}$.

Wabengröße: $x = 17.5\text{mm}$.

$y = 1\text{mm}$.

Die Wabengröße ist frei wählbar. Je mehr Waben, desto besser, aber auch um so kleiner werden die Waben. Je kleiner die Waben im Vergleich zum Feld sind, desto größer muß der Abbildungsmaßstab zwischen 1.Wabe und Feld sein. Der Abbildungsmaßstab ist beim Wabenkondensor durch das Verhältnis Abstand Wabenplatten zu Abstand 2. Wabenplatte-Retikelebene gegeben.

● Wenn die Waben ein sehr hohes Aspektverhältnis aufweisen, können die Wabenzeilen versetzt angeordnet werden (siehe Abb. 2). Dieses Problem wird im Patent US 5594526 für refraktive Wabenkondensatoren behandelt.

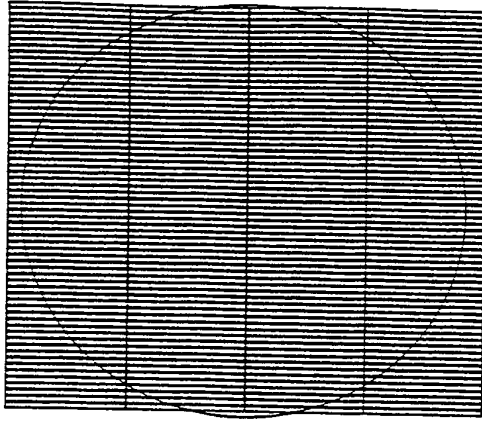


Abb. 1

„klassische Wabenanordnung“

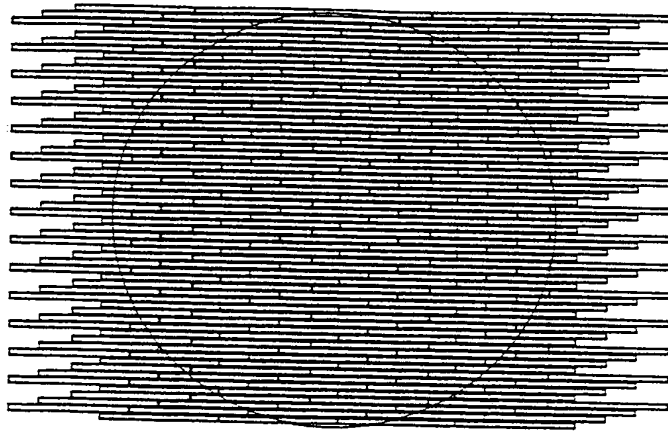


Abb. 2

versetzte Wabenanordnung

Durch die versetzten Wabenzeilen kommt es zu einer gleichmäßigen Anordnung der sekundären Lichtquellen auf der zweiten Wabenplatte. Im Falle eines Aspektverhältnisses von z.B. 1:16 ist es am günstigsten, die Wabenzeilen jeweils um $\frac{1}{4}$ der Wabenlänge zu verschieben.

5.3 Tele-Wabenkondensor.

Auf der zweiten Wabenplatte ergeben sich sekundäre Lichtquellen, die entsprechend der Verteilung der Waben auf der 1. Wabenplatte angeordnet sind. Für eine Punktlichtquelle ist somit die 2. Wabenplatte mit kleinen Intensitätspeaks beleuchtet. Ziel des Tele-Wabenkondensors ist es nun, diese Peaks so zu „packen“, daß der vorgegebene Füllfaktor σ in der Objektivpupille homogen ausgeleuchtet wird. Eine Möglichkeit, dies zu erreichen, ist, die Waben der 1. Platte auf einer sammelnden Fläche, die Waben der zweiten Platte auf einer zerstreuen Fläche anzuordnen. Dabei werden die Flächennormalen der Wabenmitten an die Flächennormalen der Trägerfläche angepaßt. Oder man überlagert den Waben auf einer Planplatte prismatische Anteile. Dies würde einer Fresnellinse als Trägerfläche entsprechen. Der Tele-Wabenkondensor ergibt sich somit als Überlagerung von klassischem Telesystem und Wabenkondensor. Gleichzeitig ist mit dieser Anordnung eine drastische Baulängenverkürzung verbunden. Die „Kompression“ von 1. Wabenplatte

zu 2. Wabenplatte ist so lange möglich, bis die sekundären Lichtquellen überlappen. Für die bekannten Laser-Plasma-Quellen mit zu kleinem Lichtleitwert (Quelldurchmesser $\varnothing = 0.05\text{mm}$) kann die Fläche von 1. Wabenplatte zu 2. immer komprimiert werden.

Die folgende Darstellung zeigt schematisch die verschiedenen Anordnungen.

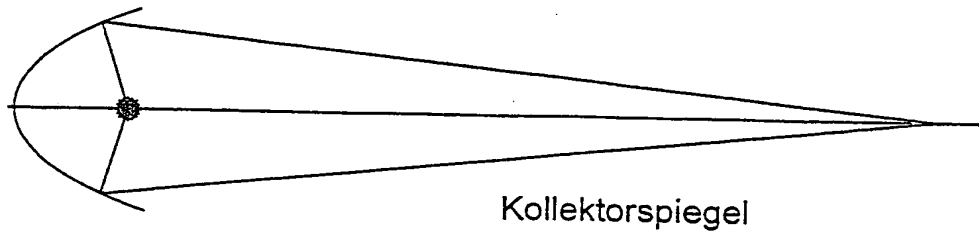


Abb. 3

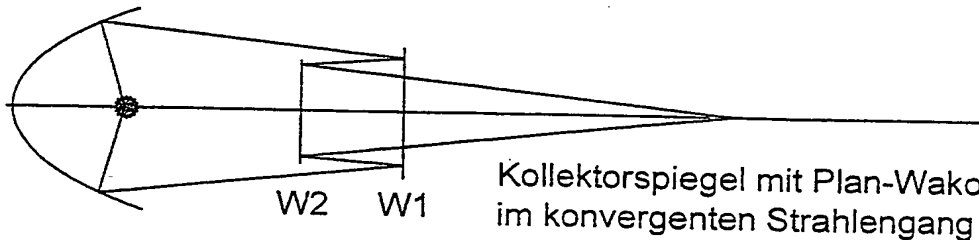


Abb. 4

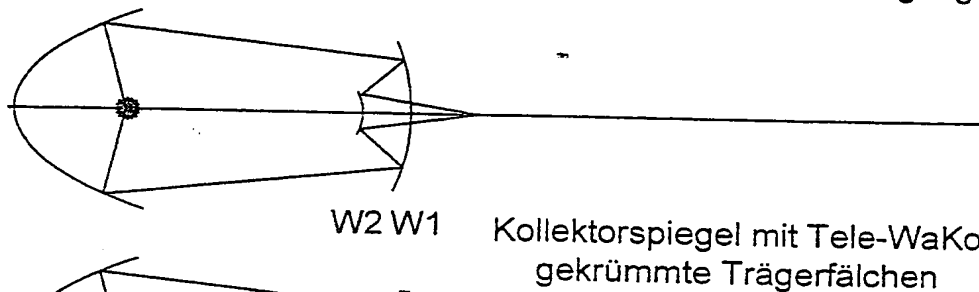


Abb. 5

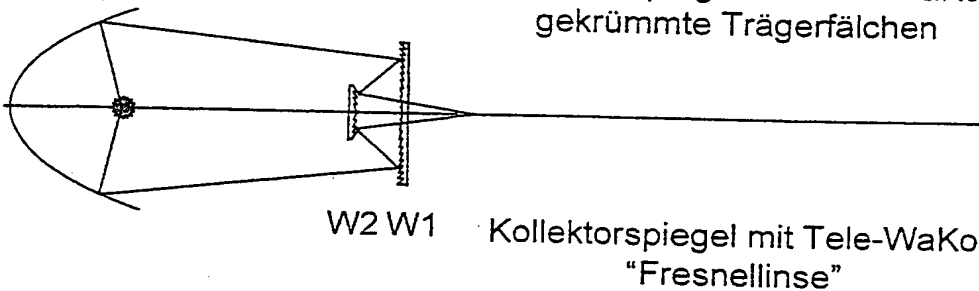


Abb. 6

Mit einem Plan-Wako (siehe schematische Darstellung Abb. 4) lässt sich die Baulänge nur um den gefalteten Lichtweg verkürzen. Da der Lichtleitwert einer Punktquelle nahezu Null ist, ist die erste Wabenplatte zwar voll, die zweite Wabenplatte jedoch nur zu einem geringen Bruchteil ausgeleuchtet.

Mit dem Tele-Wako (siehe schematische Darstellungen Abb. 5 und Abb. 6) läßt sich die Baulänge verkürzen und die Ausleuchtung auf der zweiten Wabenplatte komprimieren.

5.4 Notwendigkeit einer 2. Wabenplatte?

Die Waben der 2. Wabenplatte haben die Aufgabe, bei ausgedehnten sekundären Lichtquellen die Felder auf dem Retikel korrekt zu überlagern. Für eine hinreichend gute Punktlichtquelle ist dies nicht erforderlich.

Ist die 2. Wabenplatte nicht erforderlich, so können die Feldwaben entweder auf dem sammelnden oder auf dem zerstreuen Telespiegel aufgebracht werden. Befinden sich die Feldwaben auf dem sammelnden Telespiegel, so können sie konkav oder plan ausgeführt sein. Dies führt zu einer reellen Pupillenebene. Auf dem zerstreuen Telespiegel können die Feldwaben konvex (virtuelle Pupillenebene), konkav oder plan (reelle Pupillenebene) ausgeführt sein.

5.5 Feldlinse.

Kollektorlinse und Tele-Wako erzeugen in der Bildebene dieses Systems eine rechteckige Feldausleuchtung (6mm x 105mm) mit korrekter Apertur ($NA = 0.025$). Die Aufgabe der Feldlinse ist es nun, den Ring zu formen, die Eintrittspupille des Objektivs zu treffen und die für den Belichtungsprozeß notwendige Homogenität der Feldausleuchtung zu gewährleisten.

Schnittstelle für das Design der Feldlinse ist die Ebene der sekundären Lichtquellen. Diese muß durch die Feldlinse in die Eintrittspupille des Objektivs abgebildet werden. In der Pupillenebene dieser Abbildung (=Retikelebene) muß das Ringfeld erzeugt werden.

Aus geometrischen Gründen sind hierfür ~~zwei Spiegel~~ zwei grazing incidence Spiegel erforderlich. Mit einem Spiegel (siehe Abb. 7) würde man zwar das Ringfeld erzeugen und die Eintrittspupille treffen. Da jedoch das Retikel nur unter 2.97° getroffen wird, würde das Lichtbündel direkt ins Beleuchtungssystem zurücklaufen. Verwendet man zwei Spiegel (siehe Abb. 8), so wird der Ring nochmals umgedreht und man kann das Beleuchtungssystem „hinter“ der Feldlinse verlassen. Nur in dieser Anordnung kann das Beleuchtungssystem vom Objektiv getrennt werden.

Durch die zwei Feldspiegel hat man zudem mehr Freiheitsgrade, Telezentrie und Feldausleuchtung einzustellen.

System mit einem Spiegel in der Feldlinse

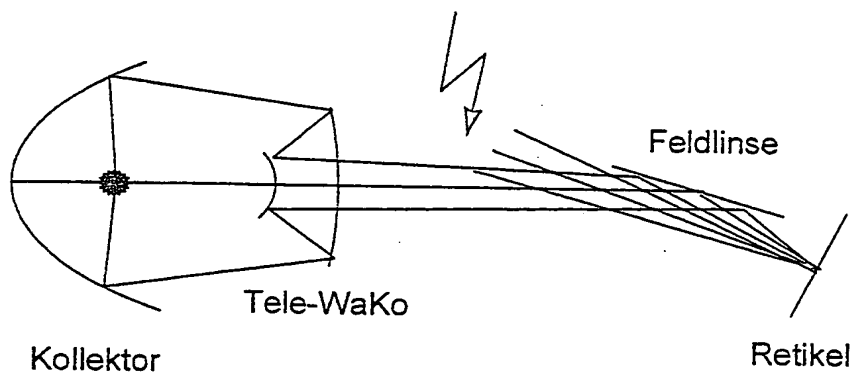


Abb. 7

System mit 2 Spiegeln in der Feldlinse

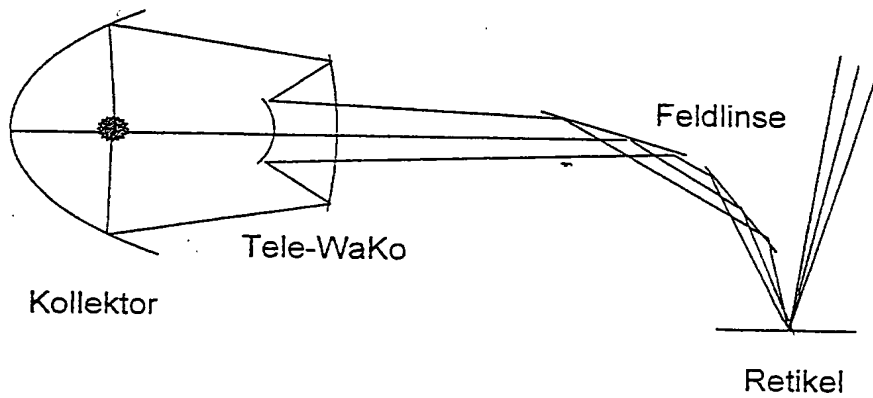


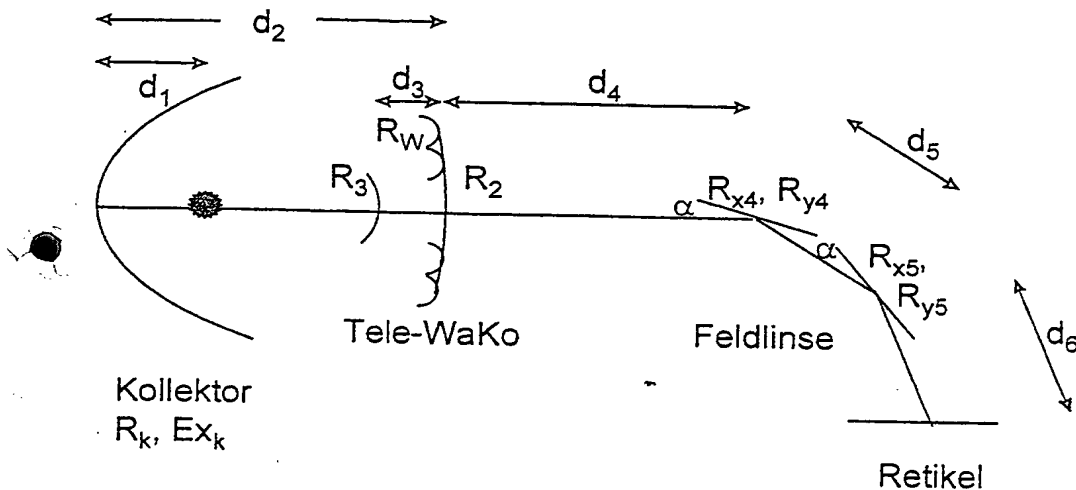
Abb. 8

6. Ausführungsbeispiel 1: Tele-Wabenkondensor.

6.1. Systemparameter.

Realisiert wurde ein Design, bei dem die Waben nur auf dem 1. Telespiegel angebracht sind. Dabei sind alle Waben identisch und liegen auf einer gekrümmten Trägerfläche.

Die Skizze (siehe Abb. 9) zeigt die im folgenden verwendeten Abkürzungen:



Benutzte Vorgaben:

- Ringfeld: $R = 100\text{mm}$, Segment = 60° , Feldhöhe $\pm 3.0\text{mm}$
- Lage der Eintrittspupille : $s_{EP} = 1927.4\text{mm}$. Dies entspricht einem Hauptstrahlwinkel von $i_{HS} = 2.97^\circ$ für $y = 100\text{mm}$.
- Apertur am Retikel: $NA = 0.025$.
- Apertur an der Quelle: $NA = 0.999$.
- $d_1 = 100.0\text{mm}$ (Debris-Problem).
- Wabengröße $1\text{mm} \times 17.5\text{mm}$
- $d_3 = 100\text{mm}$ (Strahlwinkel auf 2.Wabenplatte auf $\pm 2.5^\circ$ begrenzen).
- Kompressionsfaktor $\varnothing_{1.Wabe}/\varnothing_{2.Wabe} = 4:1$
- Kippwinkel α der grazing incidence Spiegel $\alpha = 80^\circ$.
- Kollektorspiegel Ellipsoid mit R_k und Ex_k .
- Trägerfläche R_2 und R_3 sphärisch. Wabenradius R_w sphärisch.
- Feldspiegel torisch ohne konzentrischen Anteil: R_{4x} , R_{4y} , R_{5x} , R_{5y}

6.2. Design-Beschreibung anhand der Abbildungen.

Abb. 20: Kollektorspiegel + Tele-System mit unstrukturierten Wabenplatten (Trägerplatten). Die Quelle wird auf das Retikel mit korrektem Aperturverhältnis abgebildet. Die beiden Wabenplatten zeigen den Kompressionsfaktor 4:1. Die Baulängenverkürzung durch das Telesystem ist offensichtlich. Mit Telesystem beträgt die Baulänge 852.3mm, ohne Telesystem würde sie 8000.0mm betragen.

Abb. 21: Kollektorspiegel + Tele-System mit unstrukturierten Wabenplatten: Fan von Strahlen in der x-z-Ebene.

Abb. 22: Kollektorspiegel + Tele-System mit strukturierten Wabenplatten: Fan von Strahlen in der x-z-Ebene. Durch die Waben auf dem 1. Spiegel des Telesystems entstehen auf dem 2. Spiegel des Telesystems 6 sekundäre Lichtquellen. Im Feld werden die Büschel korrekt überlagert und ein Streifen mit $-52.5\text{mm} < x < +52.5\text{mm}$ homogen ausgeleuchtet.

Abb. 23: Gesamtsystem bis zur Eintrittspupille des Objektivs: Kollektor + Tele-System mit unstrukturierten Wabenplatten + Feldlinse. Die eingezeichneten Randstrahlen treffen sich auf dem Retikel und sind bis zur Eintrittspupille des Objektivs weitergerechnet.

Abb. 24: Gesamtsystem: Kollektor + Tele-System mit strukturierten Wabenplatten + Feldlinse. Eingezeichnet ist ein x-z-Fan von Strahlen, der die zentrale Wabe durchtritt. Dieses Büschel ist zwar physikalisch nicht sinnvoll, da es vom zweiten Tele-Spiegel vignettiert werden würde, zeigt aber gut den Weg des Lichts. An den Feldspiegeln sieht man, wie durch den 2. Feldspiegel die Orientierung des Rings umgedreht wird. Die Strahlen können nach der Reflexion am Retikel ungestört ins Objektiv laufen.

Abb. 25: Gesamtsystem: Kollektor + Tele-System mit strukturierten Wabenplatten + Feldlinse + Eintrittspupille Objektiv. Das eingezeichnete Strahlbüschel läuft entlang der optischen Achse (Mittenbüschel) und wird somit in die Mitte der Eintrittspupille fokussiert.

Abb. 26: Ausleuchtung des Retikels mit dem Ringfeld ($R = 100\text{mm}$, Segment = 60° , Feldhöhe $\pm 3.0\text{mm}$).

Abb. 27: Für den Lithographie-Prozess entscheidend ist die integrale Scanenergie (Integration der Intensität entlang des Scan-Weges). Die integrale Scan-Energie variiert zwischen 95% und 100%. Die Uniformity beträgt also $\pm 2.5\%$.

Abb. 28: Pupillenausleuchtung in der Feldmitte. Die Strahlwinkel sind auf den Schwerstrahl bezogen. Entsprechend der Wabenverteilung ergeben sich kreisrunde Intensitätspeaks in der Pupillenausleuchtung. Die Obskuration in der Mitte ist durch den 2. Telespiegel bedingt.

6.3. Ausbaumöglichkeiten des realisierten Designs.

- Erhöhen des Sammelwinkels über 90° .

Da das Ellipsoid die Quelle auch umschließen kann, läßt sich der Sammelwinkel ohne weiteres auf über 90° erhöhen.

- Einstellen der Baulänge.

Durch das Telesystem läßt sich die Baulänge einstellen. Begrenzt wird sie durch die Winkelakzeptanz der Schichten und die Abbildungsfehler durch Flächen mit starker optischer Wirkung.

- Anpassen des Wabenabstandes an die Winkelakzeptanz der Schichten.

Die lokale Winkelverteilung auf der 2. Wabenplatte ist durch den Abstand der Wabenplatten gegeben. Je nach Winkelakzeptanz muß ein Mindestabstand eingehalten werden. Dies hat wieder Auswirkungen auf die Baulänge.

- 1. Wabenplatte plan realisieren.

Zur Vereinfachung der Fertigung ist es eine Alternative, die Waben auf einer planen Trägerfläche anzubringen und die Sammelwirkung komplett auf den Ellipsoidspiegel zu übertragen. Im realisierten Design beträgt der Radius der Trägerfläche z.B. 3793mm, die Krümmung ist also sehr gering.

- Verwenden von konischen Konstanten.

Zusätzliche Asphärenkonstanten können den Korrekursionsstand noch verbessern.

- Verwenden von Waben auf der 2. Wabenplatte.

Sobald die Quelle nicht mehr als Punktquelle anzusehen ist, müssen auf der 2. Wabenplatte Waben aufgebracht werden.

7. Ausführungsbeispiel 2: Planfacetten-Wabenkondensor.

7.1. Merkmale des Planfacetten-Wabenkondensors.

Das Ausführungsbeispiel 2 läßt sich durch folgende Merkmale charakterisieren:

Vorteile:

- Hohe System-Effizienz von 27%: 2 normal incidence Spiegel (65%)+ 2 grazing incidence Spiegel (80%).
- Große Sammeleffizienz. Realisiert wurde der Sammelraumwinkel 2π , der sich aber noch erweitern läßt.
- Wabenplatte besteht aus Planfacetten, die auf einer planen Trägerplatte aufgebracht sind und einzeln gekippt sind.
- Keine Obskuration in der Pupillenausleuchtung.
- Einstellbare Baulänge. Realisiert wurden 2000mm.
- Köhlersche Beleuchtung: Pupillenfüllung ist durch eine Vielzahl runder Teilpupillen gegeben (entsprechend Wabenzahl).

Nachteile:

- Da auf die 2. Wabenplatte verzichtet wird, arbeitet das System nur für eine hinreichend gute Punktlichtquelle optimal (z.B. Tröpfchen-Quelle mit $\varnothing = 50\mu\text{m}$). Für größere Quellen (z.B. Tröpfchenquelle mit $\varnothing = 200\mu\text{m}$) muß zur Feldkorrektur die Wabenform angepaßt oder eine 2. Wabenplatte eingefügt werden.
- Die Pupillenebene ist nicht frei zugänglich. Somit ist eine Steuerung der Beleuchtungssettings (Kohärenzfaktor, Ringapertur, Quadrupol) nicht möglich.

7.2. Aufbau des Planfacetten-Wakos.

Das Beleuchtungssystem mit dem Planfacetten-Wako besteht aus:

- Ellipsoidspiegel: Der Ellipsoidspiegel sammelt das von der Laser-Plasma-Quelle abgestrahlte Licht ein und bildet die Quelle auf eine sekundäre Lichtquelle ab.
- Planfacetten-WaKo: Der Planfacetten-Wako besteht aus einer Vielzahl einzelner Waben (plan), die das kollimierte Lichtbündel in Teilbündel zerlegt und diese

Teilbündel in der Retikelebene überlagert. Dazu müssen die einzelnen Facetten gekippt werden. Die Form der Waben entspricht dem Rechteckfeld des auszuleuchtenden Feldes (Feldbogen wird zum Rechteck aufgezogen).

- Feldlinse: Die Feldlinse wird aus zwei grazing incidence Toroidspiegeln gebildet, die das Ringfeld formen und die Eintrittspupille des Objektivs korrekt ausleuchten und die Homogenität der Feldaussleuchtung entsprechend dem Belichtungsprozeß gewährleistet.

Der Aufbau des Planfacetten-WaKos entspricht im Prinzip dem Aufbau des Tele-WaKos des Ausführungsbeispiels 1. Beim Tele-WaKo in Ausführungsbeispiel 1 werden jedoch die sekundären Lichtquellen durch die sammelnde Wirkung des Ellipsoidspiegels, der gekrümmten Trägerfläche der Wabenplatte und die sammelnde Wirkung der Einzelwaben erzeugt.

Beim Planfacetten-WaKo in Ausführungsbeispiel 2 wird die Laser-Plasma-Quelle alleine durch den Ellipsoidspiegel in die sekundäre Lichtquelle abgebildet.

Dies spart einen normal incidence-Spiegel (65% Refl.) ein und läßt die Verwendung von planen Facetten zu.

Die Wirkungsweise wird an den folgenden schematischen Darstellungen vorgestellt. Die obere Darstellung (siehe Abb. 10) zeigt die Abbildung der Laser-Plasma-Quelle durch den Ellipsoidspiegel.

In der mittleren Abbildung (siehe Abb. 11) lenkt ein gekippter Planspiegel das Lichtbündel um und leitet es am Ellipsoidspiegel vorbei zur Retikelebene.

In der unteren Abbildung (siehe Abb. 12) zerschneiden gekippte Facetten das Lichtbündel und überlagern die Teilbündel in der Retikelebene. Dadurch wird eine Vielzahl von sekundären Lichtquellen erzeugt, die die Pupille homogen ausfüllen. Die Kippwinkel der einzelnen Facetten entsprechen an den Aufpunkten der Facetten den Krümmungen eines Hyperboloids, das zusammen mit dem Ellipsoidspiegel die Laser-Plasma-Quelle in die Retikelebene abbilden würde.

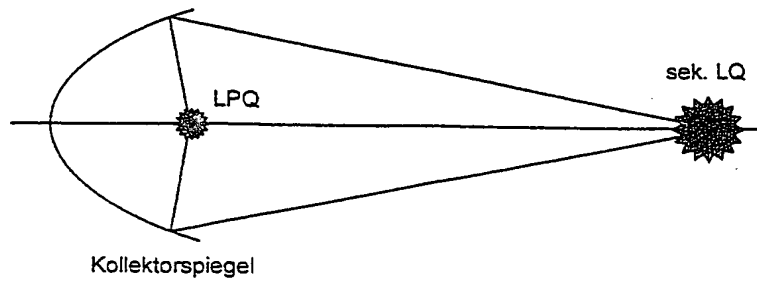


Abb. 10

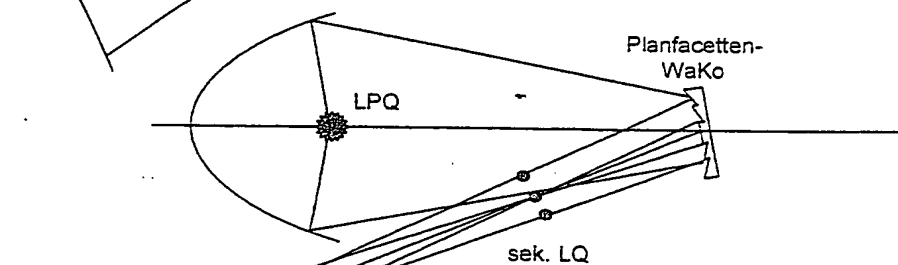
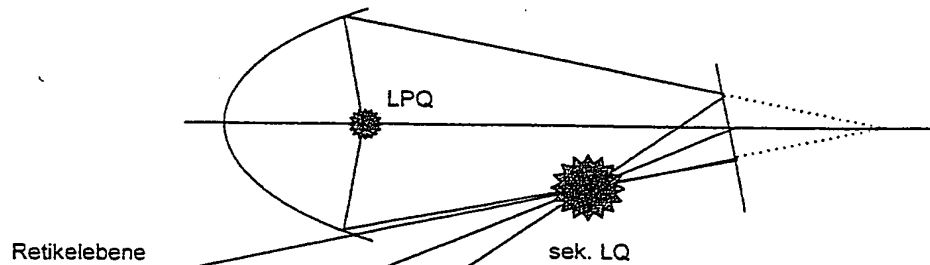


Abb. 11

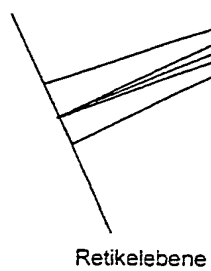


Abb. 12

7.3. Systemparameter.

In der folgenden Abbildung (siehe Abb. 13) sind die Abkürzungen eingezeichnet, wie sie in der Systemableitung verwendet werden. Zur besseren Darstellung wurde das System linear aufgezogen.

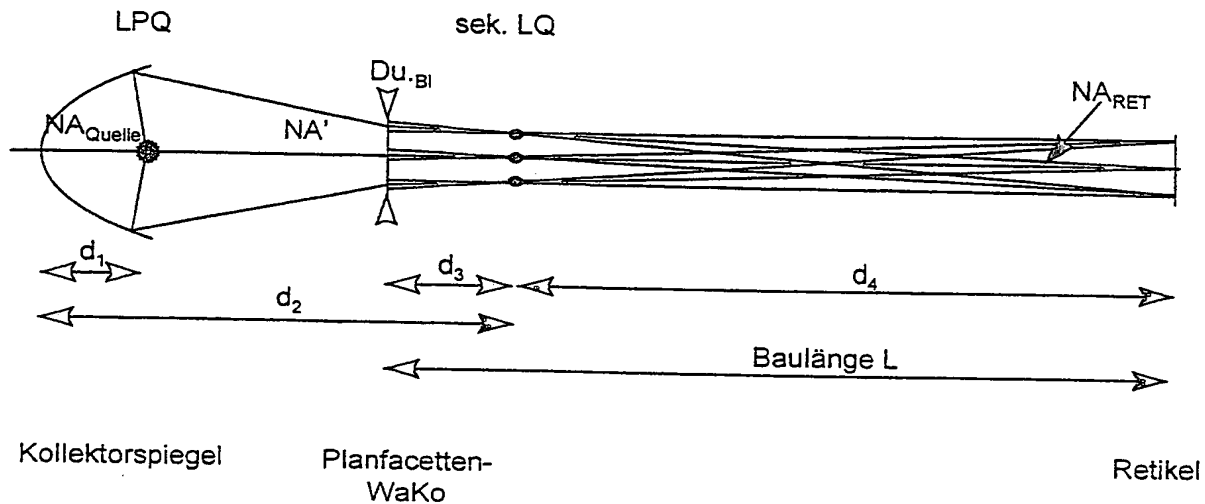


Abb. 13

Vorgegeben für das Beispiel sind folgende Größen:

- Ringfeld: $R = 100\text{mm}$, Segment = 60° , Feldhöhe $\pm 3.0\text{mm}$. Dies entspricht einem Rechteckfeld von $105\text{mm} \times 6\text{mm}$
- Apertur am Retikel: $NA_{\text{Ret}} = 0.025$.
- Apertur an der Quelle: $NA_{\text{Quelle}} = 0.999$ (Durch die Quelle gegeben).
- $d_1 = 100.0\text{mm}$ (Debris-Problem).
- Baulänge $L = d_3 + d_4 = 1400\text{mm}$.
- Anzahl der Waben innerhalb des Blendendurchmessers = 4 (Anzahl der sekundären Lichtquellen, bzw. Homogenität der Pupillenfüllung).

Es handelt sich um für die EUV-Mikrolithographie sinnvolle Erfahrungswerte, die jedoch reinen Beispielcharakter haben.

Die Größen sind folgendermaßen miteinander verknüpft:

$$NA_{Ret} = \frac{DU_{BL}/2}{L}$$

$$\Rightarrow DU_{BL} = 2 \cdot L \cdot NA_{Ret}$$

$$\frac{DU_{BL}}{x_{Wabe}} = 4.0$$

$$\Rightarrow x_{Wabe} = \frac{DU_{BL}}{4.0}$$

$$\beta_{Wabe} = \frac{x_{Feld}}{x_{Wabe}} = \frac{d_4}{d_3}$$

$$\Rightarrow \beta_{Wabe} = \frac{x_{Feld}}{x_{Wabe}}$$

$$\Rightarrow d_4 = d_3 \cdot \beta_{Wabe}$$

$$L = d_3 + d_4$$

$$\Rightarrow d_3 = \frac{L}{1 + \beta_{Wabe}}$$

$$NA' = \frac{DU_{BL}/2}{d_3}$$

$$\Rightarrow NA' = \frac{DU_{BL}/2}{d_3}$$

$$\tan(\theta) = -\frac{(1-Ex) \cdot \sin(\theta')}{2\sqrt{Ex} - (1-Ex) \cdot \cos(\theta')}$$

$$\Rightarrow Ex = f(NA_{QU}, NA')$$

$$Ex = \left(\frac{sk - s1}{sk + s1} \right)^2 = \left(\frac{d_2 - d_1}{d_2 + d_1} \right)^2$$

$$\Rightarrow d_2 = d_1 \cdot \frac{1 + \sqrt{Ex}}{1 - \sqrt{Ex}}$$

$$Ex = 1 - \frac{R}{a}$$

$$\Rightarrow R = \frac{d_1 + d_2}{2} \cdot (1 - Ex)$$

Mit dem erfindungsgemäßen Systemansatz mit planen Rasterspiegelelementen und den vorgegebenen Größen läßt sich das System komplett bestimmen, zumindestens die lineare Ausführung. Die gefaltete Ausführung wurde mit dem verbreiteten Optik-Design-Programm CODE V nachoptimiert.

7.4. Realisiertes Design.

Setzt man die Designvorgaben in die obigen Formeln ein, so ergeben sich alle Systemparameter des realisierten Design (ohne Feldlinse):

$$DU_{BL} = 2 \cdot L \cdot NA_{Ret} = 2 \cdot 1400\text{mm} \cdot 0.025 = 70.0\text{mm}$$

$$x_{Wabe} = \frac{DU_{BL}}{4.0} = \frac{70.0\text{mm}}{4.0} = 17.5\text{mm}$$

$$\beta_{Wabe} = \frac{x_{Feld}}{x_{Wabe}} = \frac{105.0\text{mm}}{17.5\text{mm}} = 6.0$$

$$d_3 = \frac{L}{1 + \beta_{Wabe}} = \frac{1400.0\text{mm}}{1 + 6.0} = 200.0\text{mm}$$

$$d_4 = d_3 \cdot \beta_{Wabe} = 200.0\text{mm} \cdot 6.0 = 1200.0\text{mm}$$

$$NA' = \frac{DU_{BL}/2}{d_3} = \frac{70.0\text{mm}/2}{200.0\text{mm}} = 0.175$$

$$Ex = f(NA_{QU}, NA') = 0.695$$

$$d_2 = d_1 \cdot \frac{1 + \sqrt{Ex}}{1 - \sqrt{Ex}} = 100.0\text{mm} \cdot \frac{1 + \sqrt{0.695}}{1 - \sqrt{0.695}} = 1101.678\text{mm}$$

$$R = \frac{d_1 + d_2}{2} \cdot (1 - Ex) = \frac{100.0\text{mm} + 1101.678\text{mm}}{2} \cdot (1 - 0.695) = 183.357\text{mm}$$

Die Feldlinse ist ähnlich aufgebaut wie beim Tele-WaKo-System. Sie besteht aus zwei Toroid-Spiegeln. Dies hat zwei Gründe:

1. Korrekte Orientierung des Rings am Retikel, bzw. Vermeidung von geometrischen Problemen.
2. Zielen der Hauptstrahlen auf die Eintrittspupille des Objektivs. Nur ein Toroidspiegel (Formung des Rings) und ein Planspiegel (Umdrehen des Rings) haben sich nicht als geeignet erwiesen.

7.5. Design-Beschreibung anhand der Abbildungen.

Abb. 29: Ellipsoidspiegel, der die Apertur $NA = 0.999$ aufnimmt und auf die sekundäre Lichtquelle abbildet.

Abb. 30: Planspiegel am Ort der Wabenplatte, der das Bündel zurückspiegelt. Die Strahlen sind bis zur Retikelebene verlängert.

Die sekundäre Lichtquelle liegt innerhalb des Strahlenbündels. Somit ist die Blendenebene nicht zugänglich.

Abb. 31: Der Umlenkspiegel wird durch die Wabenplatte ersetzt. Eingezeichnet ist ein Fan von Strahlen, die jeweils durch die Mitten der einzelnen Facetten gehen. Die Strahlen schneiden sich in der Retikelebene auf der optischen Achse.

Abb. 32: Gesamtsystem bis zur Eintrittspupille des Objektivs: Kollektor + Planfacetten-WaKo + Feldlinse. Die eingezeichneten Randstrahlen treffen sich auf dem Retikel und sind bis zur Eintrittspupille des Objektivs weitergerechnet.

Abb. 33: Gesamtsystem: Kollektor + Planfacetten-WaKo + Feldlinse. Eingezeichnet ist ein x-z-Fan von Strahlen, der die zentrale Wabe trifft. Die Strahlen leuchten den Ring auf dem Retikel mit der korrekten Orientierung aus.

Abb. 34: Gesamtsystem: Kollektor + Planfacetten-WaKo + Feldlinse + Eintrittspupille Objektiv. Das eingezeichnete Strahlbündel läuft entlang der optischen Achse (Mittenbündel) und wird somit in die Mitte der Eintrittspupille fokussiert.

Abb. 35: Ausleuchtung des Retikels mit dem Ringfeld ($R = 100\text{mm}$, Segment = 60° , Feldhöhe $\pm 3.0\text{mm}$).

Abb. 36: Für den Lithographie-Prozess entscheidend ist die integrale Scanenergie (Integration der Intensität entlang des Scan-Weges). Die integrale Scan-Energie variiert zwischen 100% und 105%. Die Uniformity beträgt also $\pm 2.5\%$.

Abb. 37,

Abb. 38: Intensitätsverteilung ohne Feldlinse. Der Planfacetten-WaKo erzeugt eine homogene Feldausleuchtung.

Abb. 39: Pupillenausleuchtung in der Feldmitte. Die Strahlwinkel sind auf den Schwerstrahl bezogen. Entsprechend der Wabenverteilung ergeben sich kreisrunde Intensitätspeaks in der Pupillenausleuchtung. Die Pupille ist voll gefüllt. Es gibt keine Mittenobskuration.

7.6. Ausbaumöglichkeiten des realisierten Designs.

- Erhöhen des Sammelwinkels über 90°.

Der Sammelwinkel kann ohne weiteres auf über 90° erhöht werden. Dazu muß in der Systemableitung nur der Quellwinkel erhöht werden. Dies führt zunächst zu einer größeren Baulänge.

- Variation der Baulänge

Die Baulänge kann jedoch ebenfalls angepaßt werden. Bei einer Verringerung müssen dafür die Wabenabmessungen verkleinert werden.

8. Design-Varianten.

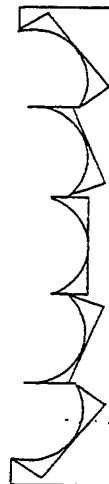
8.1 Waben mit prismatischen Anteilen („Fresnellinsen“ als Trägerflächen).

Im Ausführungsbeispiel 1 sind die Waben auf einer gekrümmten Trägerfläche angeordnet (siehe schematische Darstellung Abb. 14). Dabei entspricht die Neigung der Waben der Tangentenneigung der Trägerfläche.



Waben auf Trägerfläche
angeordnet

Abb. 14



Waben
mit prismatischem Kipp

Abb. 15

Ähnlich wie bei einer Fresnellinse kann für jede Wabe die Pfeilhöhe auf Null gesetzt werden, so daß nur der prismatische Anteil übrig bleibt. Dadurch liegen die Waben auf einem Plansubstrat (siehe schematische Darstellung Abb. 15).

Der optische Weg für Randstrahlen wird im Vergleich zum Mittenstrahl jedoch länger. Dies kann eine Anpassung der Wabenbrennweiten zum Rand der Wabenplatte hin erfordern.

Prismatischer Anteil und Brennweite der Waben werden also übers Feld variieren.

8.2 Designs für 1 Wabenplatte.

Für Punktlichtquellen, bzw. Quellen mit sehr kleinem Lichtleitwert ist nur eine Wabenplatte erforderlich. Diese kann auf dem Sammelspiegel des Telesystems (wie in Ausführungsbeispiel 1) oder auf dem zerstreuen 2. Telespiegel (wie in Ausführungsbeispiel 2) angebracht werden.

Die Anbringung auf dem 2. Telespiegel hat mehrere Vorteile:

- Bei sammelnden Waben entsteht eine reelle Pupillenebene in „Luft“, die frei zugänglich ist (siehe schematische Darstellung Abb. 16).
- Bei zerstreuen Waben entsteht zwar eine virtuelle Pupillenebene, die nicht zugänglich ist (siehe schematische Darstellung Abb. 17). Die negative Brennweite der Waben kann jedoch vergrößert werden.
- Sitzen die Feldwaben auf dem 1. Telespiegel, so liegen auf dem 2. Telespiegel die sekundären Lichtquellen. Am Ort der sekundären Lichtquellen ist das Winkelspektrum durch die Wabenausdehnung und den Abstand der Telespiegel gegeben. Da die EUV-Schichten eine geringe Winkelakzeptanz besitzen ($< \pm 3^\circ$), kann es zu Uniformity-Problemen kommen.

Im Falle der Waben auf dem 2. Telespiegel befinden sich die sekundären Lichtquellen an Luft.

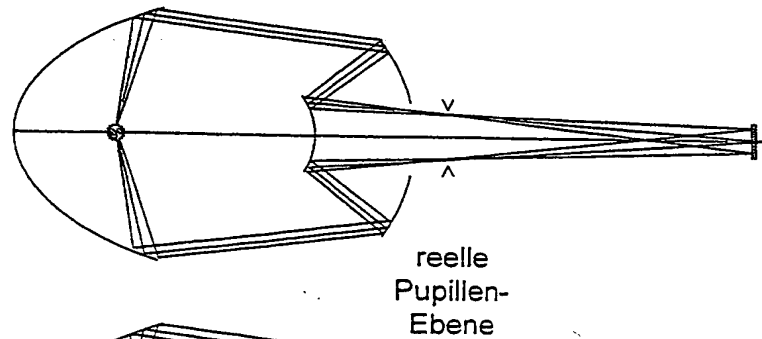


Abb. 16

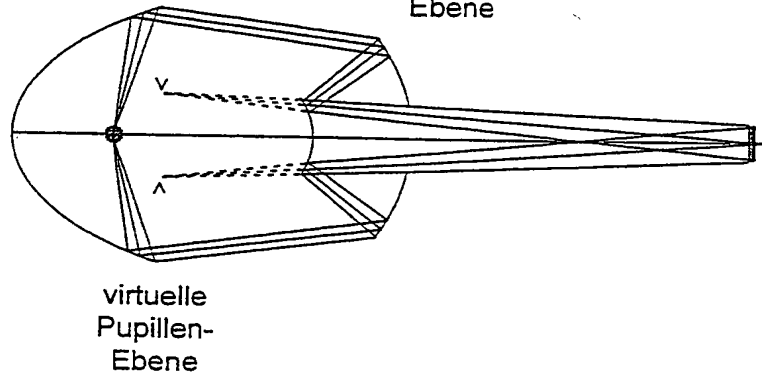


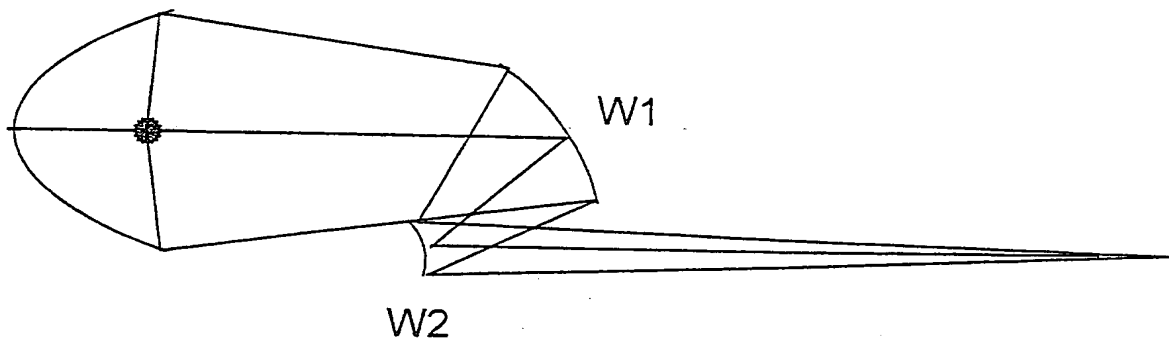
Abb. 17

8.3 Zick-

Strahlengang innerhalb der Wabenplatten.

Um die Obskuration durch die 2. Wabenplatte zu vermeiden, können die beiden Wabenplatten so zueinander gekippt werden, daß die Strahlbüschel sich nicht in die Quere kommen (siehe Abb. 18).

Zack-



Kollektorspiegel mit gekipptem Tele-WaKo

Abb. 18

Aus der schematischen Skizze wird ersichtlich, daß die optischen Weglängen von unterem und oberem Randstrahl unterschiedlich sind. Das kann erfordern, daß die

Waben nicht mehr identisch sind, sondern in ihrer optischen Wirkung an die Position auf der Wabenplatte angepaßt werden müssen.

8.4 Zwischenbild der Quelle.

Das Xenon-Restgas der Quelle beeinträchtigt die Transmission der 13nm-Strahlung. Deshalb sollte spätestens vor dem Projektionsobjektiv die Möglichkeit bestehen, ein Trennfenster einzubauen. An dieser Stelle könnten auch Filter angebracht werden. Da diese Trennfenster z.B. aus sehr dünnem Si bestehen können, dürfen sie nicht ausgedehnt sein. Eine Stelle mit minimalem Strahlquerschnitt bietet sich in dem realisierten Design vor oder nach der zweiten Wabenplatte an.

Eine andere Möglichkeit wäre, die Quelle zuerst auf ein Zwischenbild abzubilden (siehe schematische Darstellung Abb. 19). Diese Lösung bedeutet automatisch eine größere Baulänge. Möglich ist jedoch, das System am Zwischenbild abzuknicken.

Die sammelnde Wirkung des Tele-Wakos müßte komplett von der 1. Wabenplatte aufgebracht werden. Das bedeutet, daß die Waben auf einer stark gekrümmten Fläche ausgerichtet werden müssen oder große prismatische Anteile aufweisen. Der Lichtverlust durch die Obskuration der 2. Wabenplatte ist bei dieser Lösung erheblich größer.

Man kann sich auch einen Zick-Zack-Strahlengang im Tele-WaKo vorstellen.

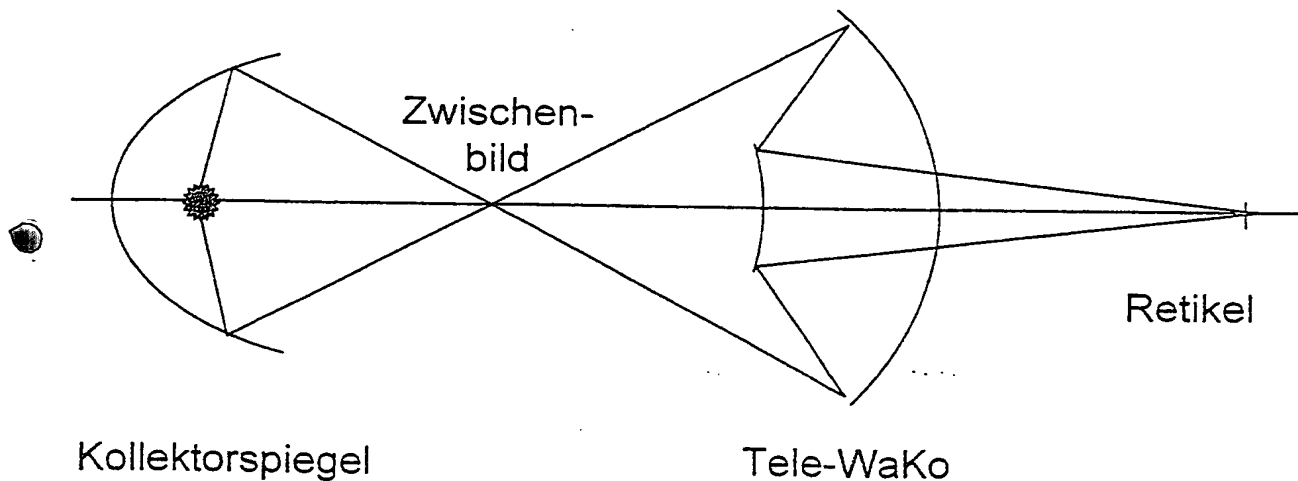


Abb. 19

8.5 Rückspiegel zur Steigerung des Sammelwirkungsgrades.

Da es sich bei Laser-Plasma-Quellen um 4π -Strahler handelt, geht der Teil des Lichtes verloren, der nicht vom Kollektorspiegel eingesammelt wird. Durch sphärische Rückspiegelemente, die ihren Krümmungsmittelpunkt in der Quelle haben, läßt sich ein Teil dieses Lichtes in das Beleuchtungssystem rückkoppeln. Inwieweit solche Elemente sinnvoll eingesetzt werden können ohne den Strahlengang zu beschneiden, hängt vom jeweiligen Design ab.

Da das ungenutzte Licht auf jeden Fall in irgendeiner Weise abgefangen werden muß, bieten die Rückspiegel die Möglichkeit, den Wirkungsgrad noch zu erhöhen.

9. Variation des Beleuchtungssettings.

Da das Beleuchtungssystem den verflochtenen Strahlengang der Köhlerschen Beleuchtung aufweist, kann man die Blendenebene zugänglich machen. Sie liegt im Fall des Doppel-WaKos auf der zweiten Wabenplatte oder bei nur einer Wabenplatte in Luft.

Durch Maskierung dieser Fläche ist es möglich, z.B. annulare oder Quadrupol-Beleuchtung einzustellen.

10. Belegungsaspekte.

Die normal incidence Spiegel müssen mit Multilayern (z.B. Mo/Si) belegt werden, um eine Reflektivität von $> 60\%$ zu erzielen. Dies wird mit einer großen Anzahl (ca. 40) von Schichtpaketen erreicht. Die Winkelakzeptanz wird dadurch jedoch stark eingeschränkt (z.B. $\Delta\lambda/\lambda \approx 1/40$).

Variieren nun die Inzidenzwinkel stark über dem Spiegelort, müssen die Reflektivitäten über modulierte Schichtdicken angepaßt werden. Im Ausführungsbeispiel 1 betragen z.B. auf dem Kollektorspiegel die Inzidenzwinkel auf der Achse 0° , am Spiegelrand 33° .

Die winkelabhängigen Reflektivitäten können auch vorteilhaft zur Steuerung der Uniformität der Beleuchtungsverteilung auf dem Retikel eingesetzt werden. Am Ort der sekundären Lichtquellen (Pupillenebene) liegt die Feldverteilung als Winkelverteilung vor. Befindet sich an dieser Stelle wie im Ausführungsbeispiel 1 ein Spiegel, so können durch gezielte Wahl der Schichtparameter bestimmte

Winkelbereiche geschwächt werden. Dadurch läßt sich z.B. der Feldrand oder die Feldmitte in der Intensität abgesenken.

Die Winkelakzeptanz der Schichten muß direkt im Design berücksichtigt werden. An jedem normal incidence Spiegel muß die lokale Winkeldivergenz kleiner als die Winkelakzeptanz der Schichten sein. Eine kritische Stelle in den vorgestellten Designs ist der Ort der sekundären Lichtquellen, da hier die lokale Winkeldivergenz einerseits von der Wabengröße der Feldwaben, andererseits von dem Abstand der Feldwaben zu den sekundären Lichtquellen abhängig ist. Befinden sich am Ort der sekundären Lichtquellen reflektive Oberflächen, so muß der Abstand von Feldwaben und reflektierender Oberfläche so groß gewählt werden, daß die lokale Winkeldivergenz kleiner ist als die Winkelakzeptanz der Schichten. Im Ausführungsbeispiel 1 beträgt z.B. die Winkeldivergenz $\pm 2.5^\circ$.

11. Zerlegen des Systems in separate Baugruppen.

Das Beleuchtungssystem für die Laser-Plasma-Quelle kann in drei separate Baugruppen zerlegt werden:

1. Kollektorteil.

Für eine Kugel-Quelle kommt eigentlich nur ein Ellipsoidspiegel in Frage, der die 4π -Strahlung der Quelle aufnimmt und in ein konvergentes Strahlbüschel umwandelt.

2. Tele-WaKo.

Der Tele-WaKo formt das konvergente Strahlbüschel so um, daß in seiner Bildebene ein Rechteckfeld mit einer vorgegebenen Apertur ausgeleuchtet wird.

Der Tele-WaKo ist als Überlagerung von Telesystem und Wabenkondensor anzusehen. Durch die Tele-Wirkung wird die Pupille dichter gepackt und die Baulänge verkürzt. Es ist günstig, einen großen Anteil der sammelnden Wirkung der ersten Fläche des Tele-Systems auf den Ellipsoid-Spiegel des Kollektorteils zu übertragen.

Die Form der Waben der 1. Platte entspricht der Feldform (hohes Aspektverhältnis), die Form der Waben der 2. Platte -falls erforderlich- der Form der sekundären Lichtquelle (rund). Die einzelnen Wabenzeilen müssen

gegeneinander verschoben angebracht werden, um die Pupille gleichmäßig zu füllen und einem Überlapp der sekundären Lichtquellen vorzubeugen.

Das Telesystem kann als Trägersystem für die Waben ausgebildet oder als prismatische Anteile den Waben überlagert sein.

3. Feldlinse.

Die Feldlinse funktioniert unabhängig vom Kollektorsystem und Tele-WaKo. Die Schnittstelle ist die 2. Wabenplatte = Pupillenebene. Dort muß die Pupillenausleuchtung und die Winkelverteilung entsprechend der Feldausleuchtung vorliegen. Die Feldlinse aus zwei grazing incidende Spiegeln bildet die 2. Wabenplatte in die Eintrittspupille des Objektivs ab, formt das Ringfeld und gewährleistet die Homogenität der Feldausleuchtung entsprechend des Belichtungsverfahrens.

12. Vergleich mit bekannten Patent-Lösungen.

Als Beleuchtungssysteme für eine Laser-Plasma-Quelle sind die Patente von Sweatt (US5361292) und White (US 5339346) bekannt. In beiden Lösungen wird die schmale Feldseite kritisch (Quelle auf Retikel), die lange Feldseite köhlersch (Quelle in Pupille) beleuchtet. Dadurch ist eine Trennung von Feld- und Pupillenebenen zwischen Quelle und Retikel nicht möglich.

Die vorgestellte Erfindung betrifft eine rein Köhlersche Feldausleuchtung.

13. Stand der Technik.

- Sweatt US 5361292: In dieser Patentschrift sind mindestens 3 im wesentlichen gleiche Segmente eines asphärischen Kollektorspiegels vorgesehen.
- White US 5339346 fordert mind. 4 paarweise symmetrisch zur Quelle angeordnete Spiegelfacetten. In der gefundenen Lösung ist der Kollektorspiegel ein einziges Ellipsoid.
- Nikon US 5594526: Für refraktive Beleuchtungssysteme der Mikrolithographie mit Wellenlängen oberhalb etwa 200nm wird eine ähnliche funktionelle Anordnung der Waben offengelegt. Die Waben müssen jedoch zentriert angebracht sein. Aufgeführt werden nur plane Trägerplatten für die Waben.
Demgegenüber befinden sich in der vorgestellte Erfindung die Waben im konvergenten Strahlengang oder auf einem Tele-System.
- Nikon US 5581605: Dieses Patent beschreibt reflektive Wabenplatten samt Herstellung und Beschichtung und Anwendungen in EUV-Beleuchtungssystemen. In den Beispielen sind die Waben jedoch quadratisch, auf einem regelmäßigen Rechteckgitter und auf einer planen Trägerfläche angeordnet. Die Fertigung der erfindungsgemäßen Wabenplatten für EUV kann mit den aus den zitierten Schriften bekannten Techniken erfolgen.

Patentansprüche:

1. Beleuchtungssystem welches ein Feld bestimmter Geometrie beleuchtet, dadurch gekennzeichnet, daß es ein Teleskop-Spiegelsystem enthält, wobei mindestens ein Spiegel davon in Rasterelemente gegliedert ist.
2. Beleuchtungssystem nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine Lichtquelle vorgesehen ist, welche radial in einen Raumwinkel größer als $\pi/2$ abstrahlt, insbesondere eine Plasmafokus-Quelle für weiche Röntgenstrahlung.
3. Beleuchtungssystem nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtquelle in einem Kollektor-Spiegel, vorzugsweise mit konvergentem Strahlengang, angeordnet ist.
4. Beleuchtungssystem nach mindestens einem der Ansprüche 1-3, dadurch gekennzeichnet, daß Köhler'sche Beleuchtung realisiert ist.
5. Beleuchtungssystem nach mindestens einem der Ansprüche 1-4, dadurch gekennzeichnet, daß es eine Fläche aufweist, auf der zu jedem Rasterelement eines Spiegels eine sekundäre Lichtquelle ausgebildet ist.
6. Beleuchtungssystem nach mindestens einem der Ansprüche 1-5, dadurch gekennzeichnet, daß dem Teleskop-Spiegelsystem nachgeordnet mindestens ein Feldspiegel vorgesehen ist.
7. Beleuchtungssystem nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß höchstens zwei Feldspiegel vorgesehen sind.

8. Beleuchtungssystem nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Feldspiegel im streifenden Einfall angeordnet sind.
9. Beleuchtungssystem nach mindestens einem der Ansprüche 1-8, dadurch gekennzeichnet, daß die Rasterelemente eines Spiegels auf das Feld abgebildet werden, ihre Bilder der Geometrie des Feldes entsprechen, und insbesondere ihre Bilder teilweise oder ganz überlagert werden.
10. Beleuchtungssystem nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Spiegel des Teleskop-Spiegelsystems in Rasterelemente gegliedert sind, und daß der zweite Spiegel am Ort der sekundären Lichtquellen angeordnet ist.
11. EUV-Lithographie-Beleuchtungssystem mit
 - Plasma-Fokus-Röntgenquelle;
 - Spiegel-System mit Multilayer, mindestens einem sammelnden Spiegel, mindestens einem zerstreuenden Spiegel, einem Spiegel mit Rasterelementen entsprechend dem ausgeleuchteten Feld, optimal einem weiteren Spiegel mit Rasterelementen, der in einer Fläche sekundärer Lichtquellen steht, und welches ein Teleskop umfaßt;
 - ein bis zwei Feldspiegeln in streifendem Einfall, vorzugsweise in Toroidform.
12. EUV-Lithographie-Beleuchtungssystem, gekennzeichnet durch genau vier oder fünf Spiegel, davon zwei mit streifendem Einfall und ein bis zwei Spiegel mit Rasterelementen.
13. Beleuchtungssystem nach mindestens einem der Ansprüche 1-12, dadurch gekennzeichnet, daß die Rasterelemente mindestens eines Spiegels gekrümmt sind, insbesondere konkav oder konvex.
14. Beleuchtungssystem nach mindestens einem der Ansprüche

- 1-12, dadurch gekennzeichnet, daß die Rasterelemente mindestens eines Spiegels plan sind.
15. Beleuchtungssystem nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Flächen der Rasterelemente mindestens eines Spiegels auf eine gekrümmte Fläche aufgebracht sind.
 16. Beleuchtungssystem nach mindestens einem der Ansprüche 1-14, dadurch gekennzeichnet, daß die Rasterelemente mindestens eines Spiegels auf eine Grundstruktur nach Art einer Fresnellinse aufgebracht sind.
 17. Beleuchtungssystem nach mindestens einem der Ansprüche 1-16, dadurch gekennzeichnet, daß die Rasterelemente mindestens eines Spiegels gegenüber der einhüllenden bzw. tragenden Fläche gekippt sind.
 18. Beleuchtungssystem nach mindestens einem der Ansprüche 1-17, dadurch gekennzeichnet, daß die Rasterelemente mindestens eines Spiegels zeilenweise angeordnet sind, und jeweils benachbarte Zeilen um einen Bruchteil, vorzugsweise $1/2$ bis $1/10$, der Länge eines Rasterelements gegeneinander versetzt angeordnet sind.
 19. Beleuchtungssystem nach mindestens einem der Ansprüche 2-18, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Raumwinkelanteil des von der Lichtquelle abgestrahlten Lichts von $0,5 \pi$, vorzugsweise π und mehr, zum Feld transportiert wird.
 20. Beleuchtungssystem nach mindestens einem der Ansprüche 1-19, dadurch gekennzeichnet, daß das Teleskop-Spiegelsystem achsialsymmetrischen Aufbau mit zentraler Abschattung aufweist.
 21. Beleuchtungssystem nach mindestens einem der Ansprüche

1-19, dadurch gekennzeichnet, daß das Teleskop-Spiegelsystem vignettierungsfreien außerachsialen Verlauf der Lichtbündel aufweist.

22. Beleuchtungssystem nach mindestens einem der Ansprüche 1-21, dadurch gekennzeichnet, daß das Aspektverhältnis der Rasterelemente eines Spiegels 1:1 bis 1:20 beträgt.
23. Beleuchtungssystem nach mindestens einem der Ansprüche 1-22, dadurch gekennzeichnet, daß das Feld ein Rechteckfeld oder ein Ringabschnitt ist, wie in der Scanning-Projektionslithographie gebräuchlich.
24. Beleuchtungssystem nach mindestens einem der Ansprüche 1-23, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Feldspiegel Toroidform aufweist, wobei die Querschnitte auch konische und asphärische Anteile haben können.
25. Beleuchtungssystem nach mindestens einem der Ansprüche 1-24, dadurch gekennzeichnet, daß der oder die Feldspiegel eine oder mehrere der folgenden Funktionen erfüllt:
 - Einstellung der feldseitigen Telezentrie
 - Umformung der von Rasterelementen rechteckig vorgegebenen Beleuchtung zu einem Feld in Form eines Ringabschnitts
 - Einstellung des Intensitätsverlaufs über das Feld.
26. Beleuchtungssystem nach mindestens einem der Ansprüche 1-25, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Spiegel eine ortsabhängige Reflektivität aufweist.
27. Beleuchtungssystem nach mindestens einem der Ansprüche 1-26, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand Lichtquelle zu beleuchtetem Feld kleiner als 3 m, vorzugsweise kleiner als 2 m ist.
28. Beleuchtungssystem nach mindestens einem der Ansprüche

1-27, dadurch gekennzeichnet, daß die feldseitige numerische Apertur ca. 0,01 bis 0,1, vorzugsweise ca. 0,025 beträgt.

29. Beleuchtungssystem nach mindestens einem der Ansprüche 1-28, dadurch gekennzeichnet, daß eine zugängliche Blendenebene vorliegt.
30. Beleuchtungssystem nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, daß eine Maskierungseinrichtung an der Blendenebene vorgesehen ist, mit der die Beleuchtungsart, insbesondere Kohärenzfaktor, annulare oder Quadrupolbeleuchtung, einstellbar ist.
31. EUV-Projektionsbelichtungsanlage der Mikrolithographie
 - mit einem Beleuchtungssystem nach mindestens einem der Ansprüche 1-30
 - einer Maske auf einem Trägersystem
 - einem Projektionsobjektiv
 - einem lichtempfindlichen Objekt auf einem Trägersystem.
32. EUV-Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, daß das Beleuchtungssystem hinsichtlich
 - Geometrie des beleuchteten Felds auf der Maske
 - numerischer Apertur
 - Pupillenlagean das Projektionsobjektiv angepaßt ist.
33. EUV-Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 31 oder Anspruch 32, ausgeführt als Scanning-System.
34. EUV-Projektionsbelichtungsanlage nach mindestens einem der Ansprüche 31-33, dadurch gekennzeichnet, daß die Beleuchtungsstärke am lichtempfindlichen Objekt - bei strukturloser Maske - weniger als $\pm 5 \%$, vorzugsweise weniger als $\pm 2 \%$ ortsabhängige Unterschiede aufweist.

35. EUV-Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 34, dadurch gekennzeichnet, daß die Scanenergie am lichtempfindlichen Objekt - bei strukturloser Maske - weniger als $\pm 5 \%$, vorzugsweise weniger als $\pm 2 \%$ ortsabhängige Unterschiede aufweist.
36. EUV-Projektionsbelichtungsanlage nach mindestens einem der Ansprüche 31-35, dadurch gekennzeichnet, daß ein für EUV transparentes Vakuumfenster im Strahlengang angeordnet ist.
37. EUV-Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 36, dadurch gekennzeichnet, daß ein Vakuumfenster an einer Einschnürung des Lichtbündels im Beleuchtungssystem angeordnet ist.

1. Zusammenfassung.

Vorgestellt wird ein Köhlersches Beleuchtungssystem für eine Laser-Plasma-Quelle, mit dessen Hilfe als Anwendungsbeispiel das Ringfeld des Mikrolithographie-Projektionsobjektives nach Jewell entsprechend den Anforderungen ausgeleuchtet wird. Die Anwendung ist für weiche Röntgenstrahlung (soft x-ray), auch EUV (extreme ultraviolet) genannt, vorgesehen. Das System besteht aus einem Kollektorspiegel (normal incidence = senkrechter Einfall), einem sog. „Tele-Wabenkondensor“ (normal incidence) und der Feldlinse (grazing incidence = streifender Einfall).

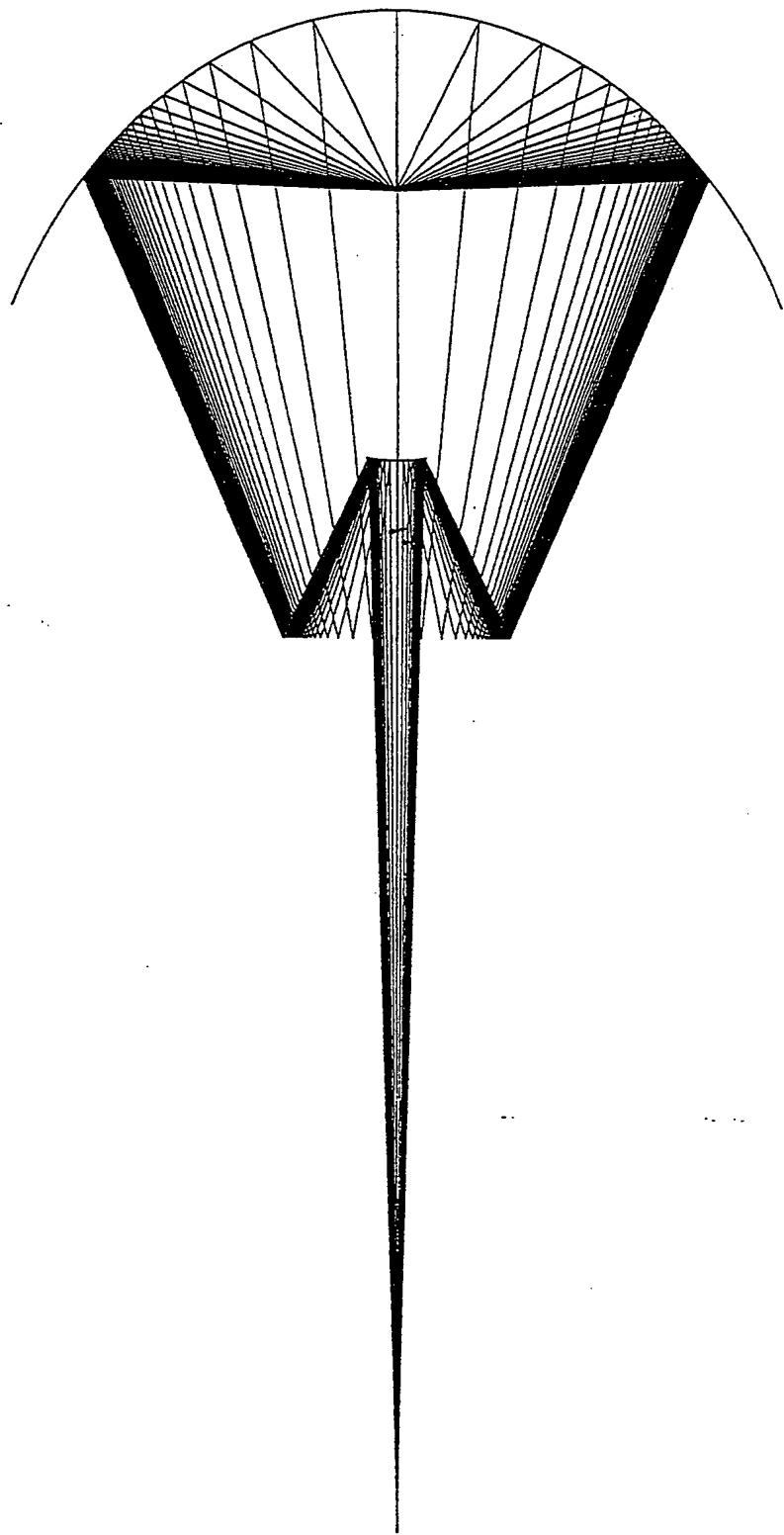
Die bekannten Laser-Plasma-Quellen bieten neben der Apertur (Kugelstrahler mit 4π) kaum Feld ($\varnothing = 50-200\mu\text{m}$) an. Zur Beleuchtung des Retikelfeldes mit dem geforderten Lichtleitwert muß deshalb ein möglichst großer Sammelraumwinkel der abgestrahlten Leistung in das Beleuchtungssystem eingekoppelt werden. Darauf setzt die Idee des Tele-Wakos auf. Ein Ellipsoidspiegel sammelt einen Großteil der 4π -Strahlung auf und formt sie in ein konvergentes Strahlbüschel um. Um trotz großem Sammelraumwinkel eine realisierbare Baulänge ($< 2000\text{mm}$) zu erreichen, wird ein Tele-System in den Strahlengang eingeführt. Die sammelnde Wirkung des Tele-Systems kann dabei ganz oder zum Teil vom Kollektorspiegel aufgebracht werden. Zur Erzeugung sekundärer Lichtquellen (Pupillenfüllung) und zur Formung des Feldes wird ein reflektiver Wabenkondensor verwendet. Die Funktionen Tele-System und Wabenkondensor können dabei überlagert werden. Bei ausgedehnten Lichtquellen können die Waben der 1. Wabenplatte auf einer sammelnden Trägerfläche aufgebracht werden, bzw. die sammelnde Wirkung durch prismatische Anteile an jeder Wabe erzeugt werden. Die Waben der zweiten Platte müssen entsprechend auf einer zerstreuenen Trägerfläche aufgebracht werden. Daraus resultiert das Wort „Tele-Wabenkondensor“ (Tele-WaKo). Bei nahezu punktförmigen Quellen reicht die Verwendung einer Wabenplatte aus. Die Feldwaben können dann entweder auf dem Sammelspiegel oder auf dem zerstreuenen Spiegel des Telesystems aufgebracht sein.

Der Tele-WaKo ermöglicht es, bei wählbarer Baulänge (z.B. $< 2000\text{mm}$) die gesamte aufgesammelte Lichtleistung der Laser-Plasma-Quelle so umzuformen, daß ein Rechteckfeld mit beliebigem Aspektverhältnis und nahezu gefüllter Apertur homogen beleuchtet wird.

Eine Feldlinse aus zwei torischen Spiegeln bildet die Pupillenebene der 2. Wabenplatte in die Eintrittspupille des Objektivs ab, formt das Ringfeld und gewährleistet die notwendige Homogenität für den jeweiligen Belichtungsprozeß in der Retikelebene.

Vorteile dieser Lösung:

- maximal möglicher Sammelwirkungsgrad bei realisierbarer Baulänge.
- verflochtener Strahlengang der Köhlerschen Beleuchtung. Zugänglichkeit der Pupillenebene. Unabhängigkeit von der Quellgröße.
- Das ausgeleuchtete Feld ist durch die Form der Waben bestimmt und unabhängig von der Quellgröße. Somit ist auch eine Vollfeldausleuchtung möglich.
- gleichmäßige Pupillenfüllung: Form der Teilpupillen ist rund und somit invariant gegen Drehungen. Die Feldabhängigkeit der Pupille ist gering.
- relativ hohe Effizienz des Systems: 2-3 normal incidence, 2 grazing incidence Spiegel.



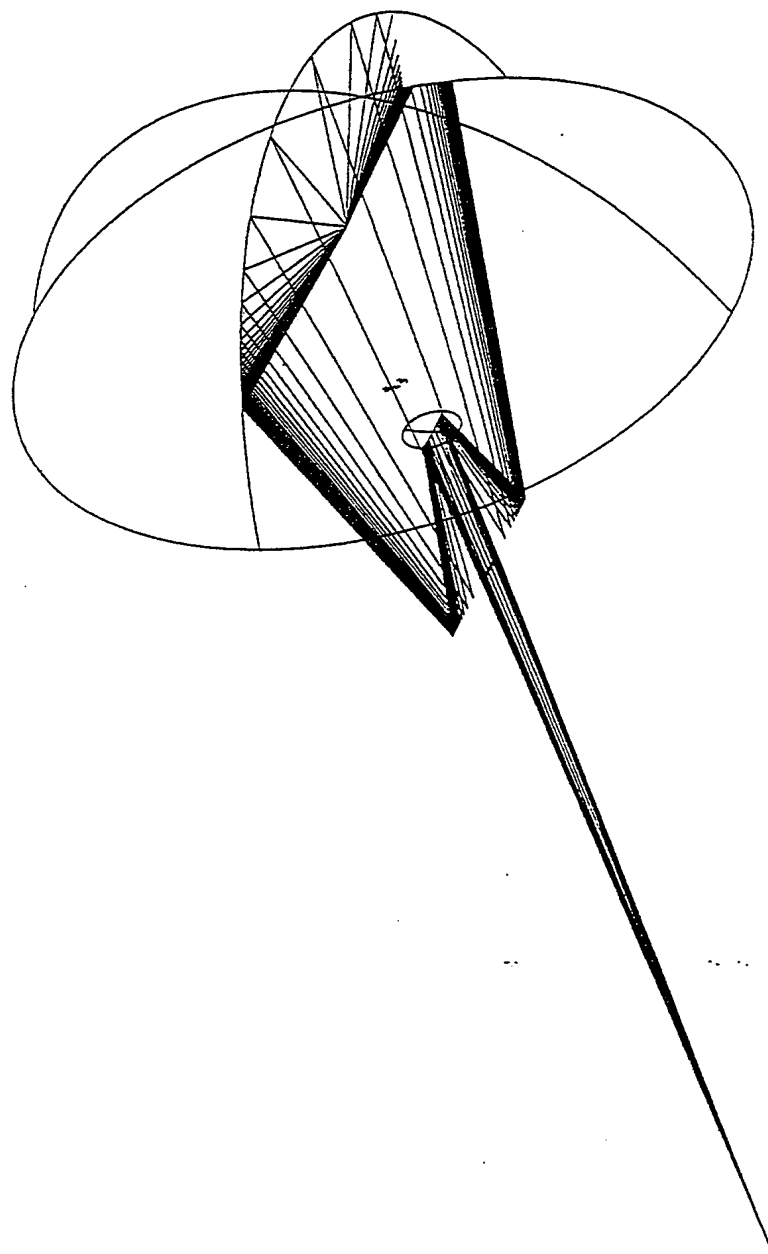
100.00 MM

Fig. 1 20

Refl. Wako

im konv. Strahleng.

18-Mar-98



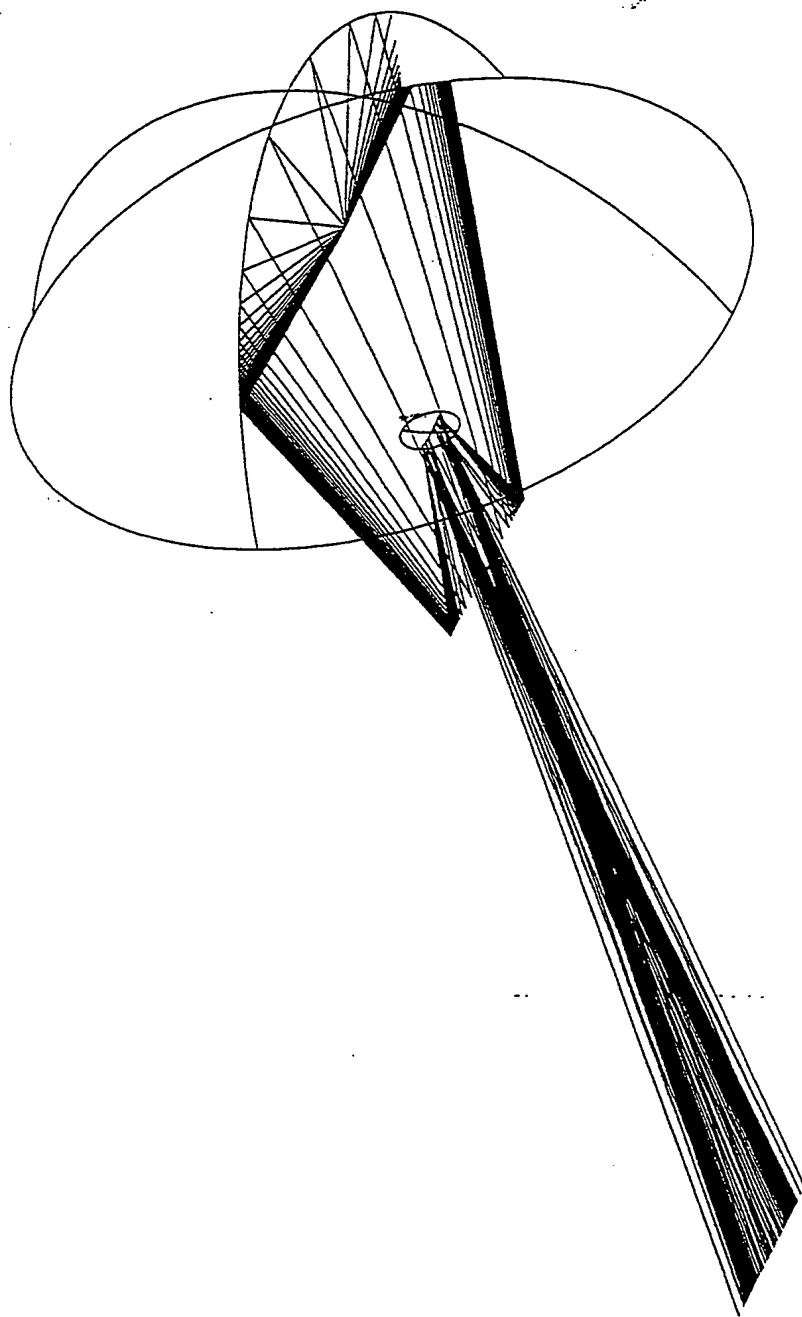
100.00 MM

18-Mar-98

im konv. Strahleng.

Refl. WaKo

Fig. 21



100.00 MM

Fig. 22

18-Mar-98

im konv. Strahleng.

Refl. WaKo

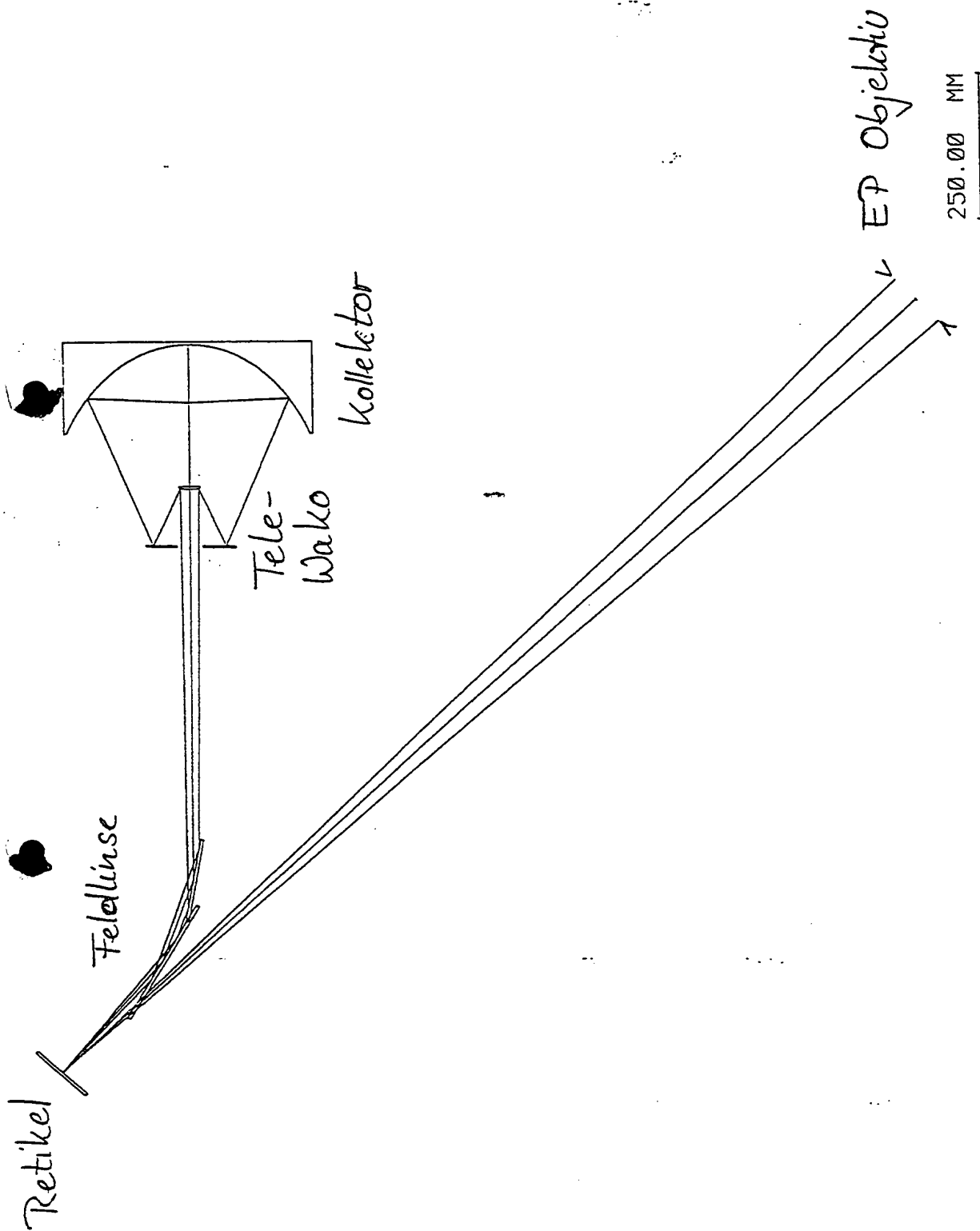
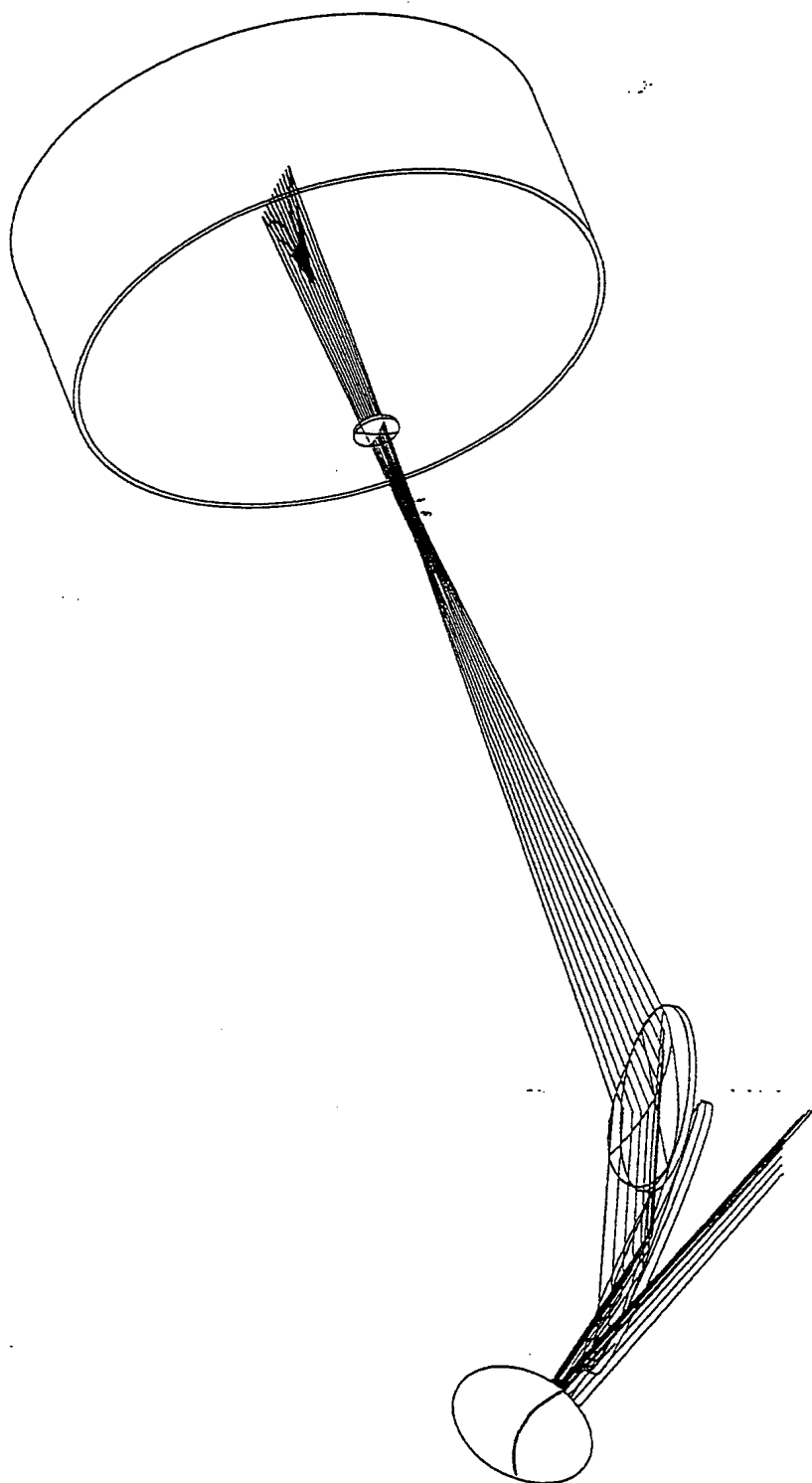


Fig. 423



138.89 MM

Fig. 5 24

Refl. WaKo im konv. Strahleng. Scale: 0.18 18-Mar-98

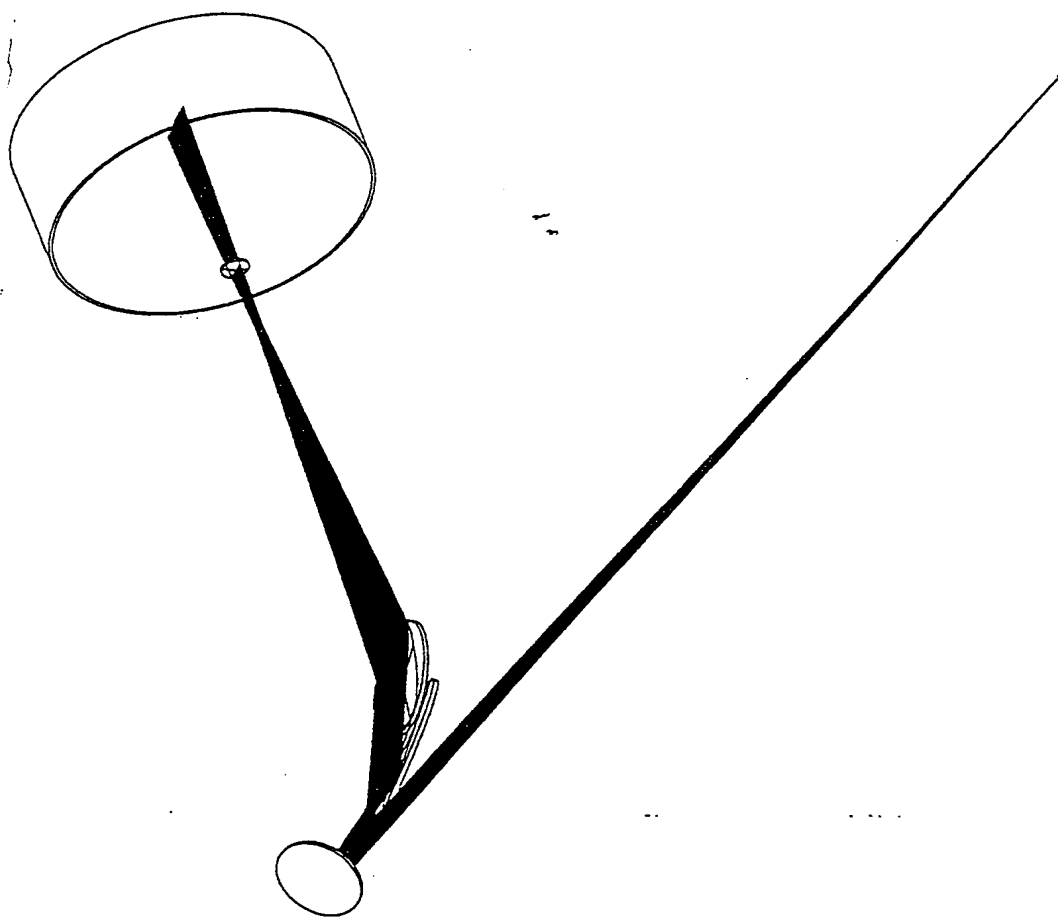


Fig. 8 25

227.27 mm

**Ausleuchtung des Retikelfeldes
mit Tele-Wako und Feldlinse**

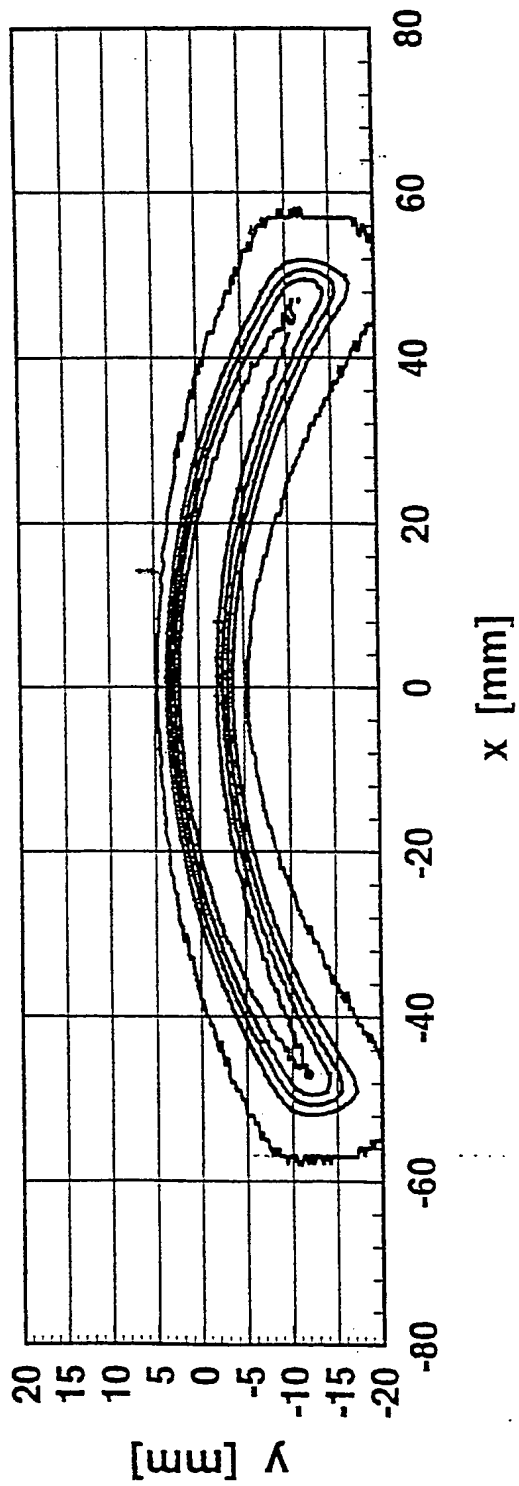
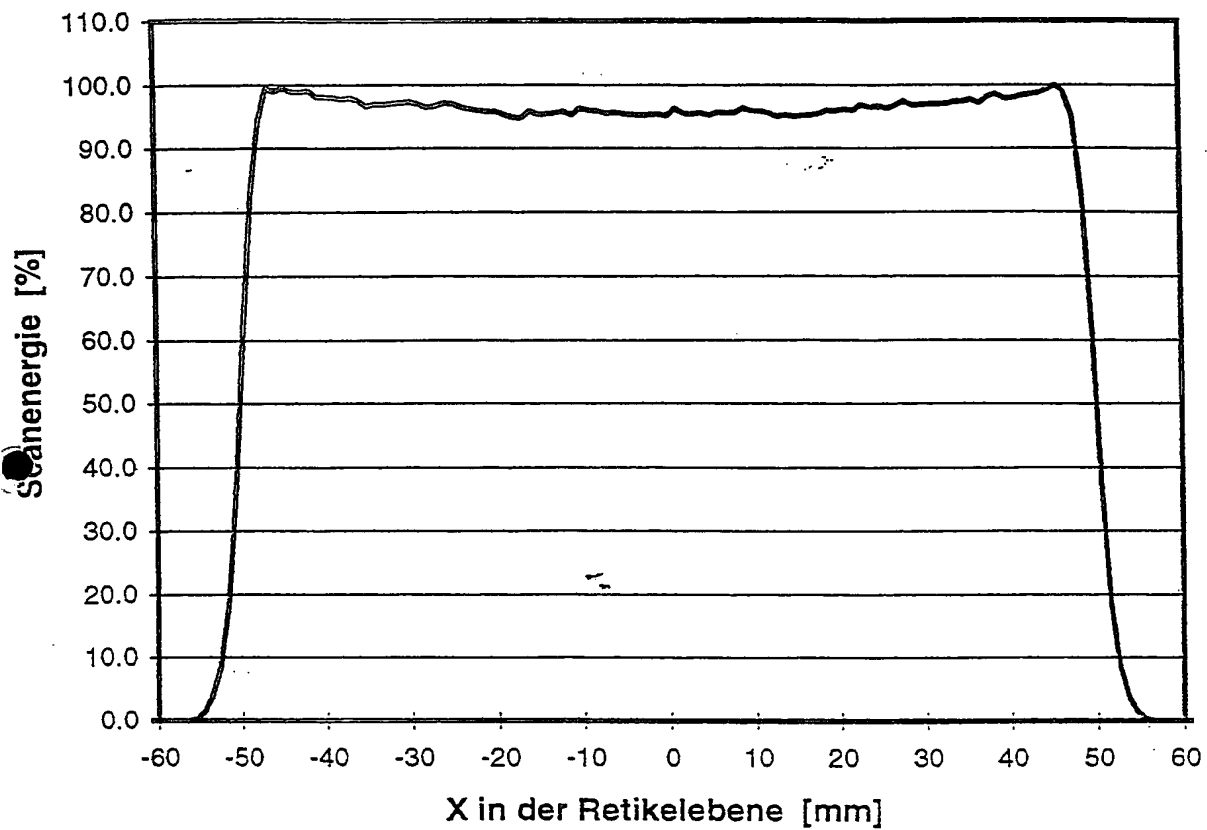
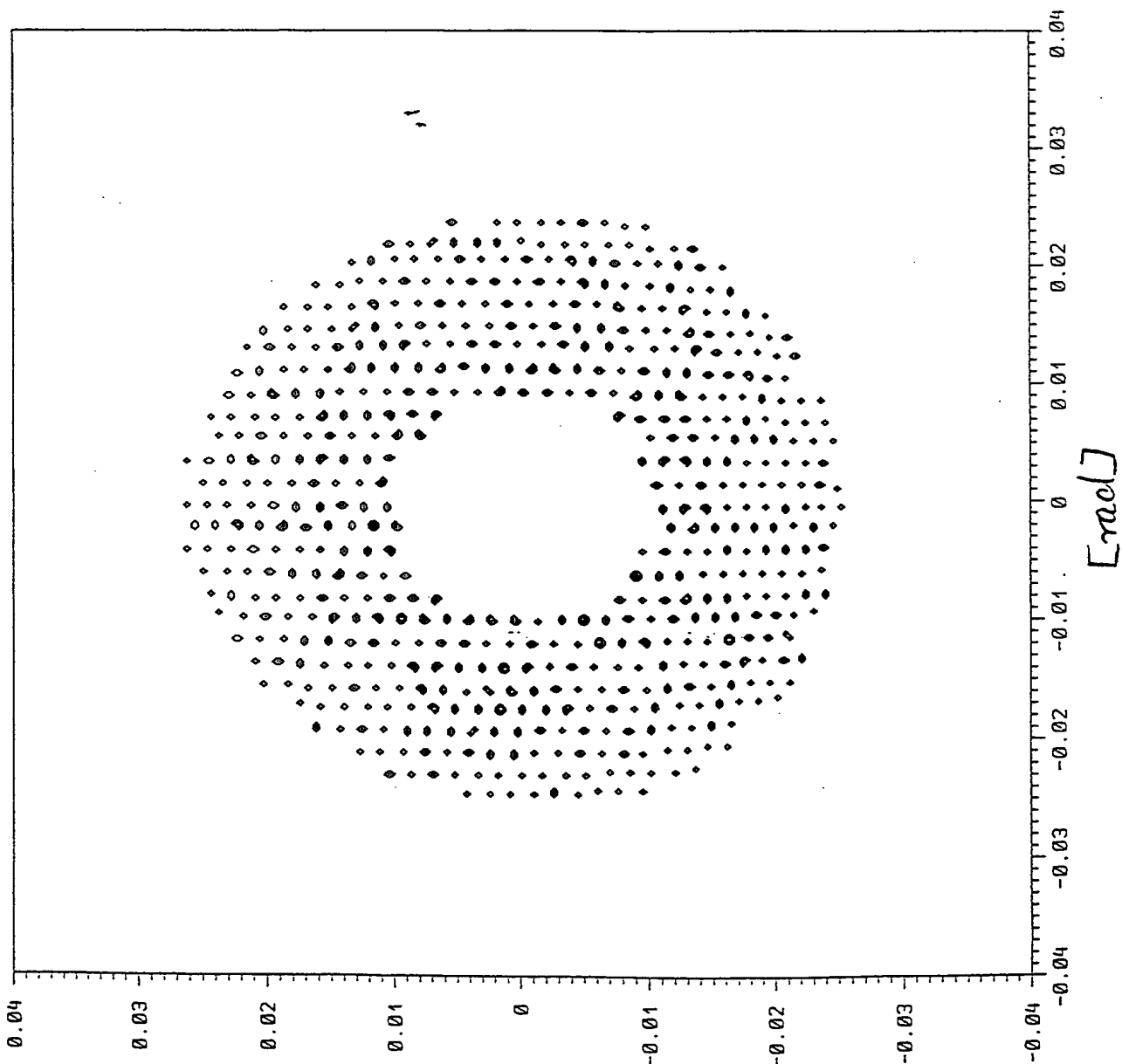


Fig. 7 26

Integrale Scanenergie in der Retikelebene Tele-Wabenkondensor mit Feldlinse





Nx = 256
 Ny = 256
 Xmin = -.040
 Xmax = .040
 Ymin = -.040
 Ymax = .040
 Zgem = .432E-02
 Zmin = .000E+00
 Zmax = 1.00
 P-V = 1.00
 Rms = .429E-01

Anzahl :
 DATA = 65536
 NO-DATA = 0

$$x = 0 \quad y = 0$$

bez. auf Schwerstrahl

Fig. 10 28

Fig. 429

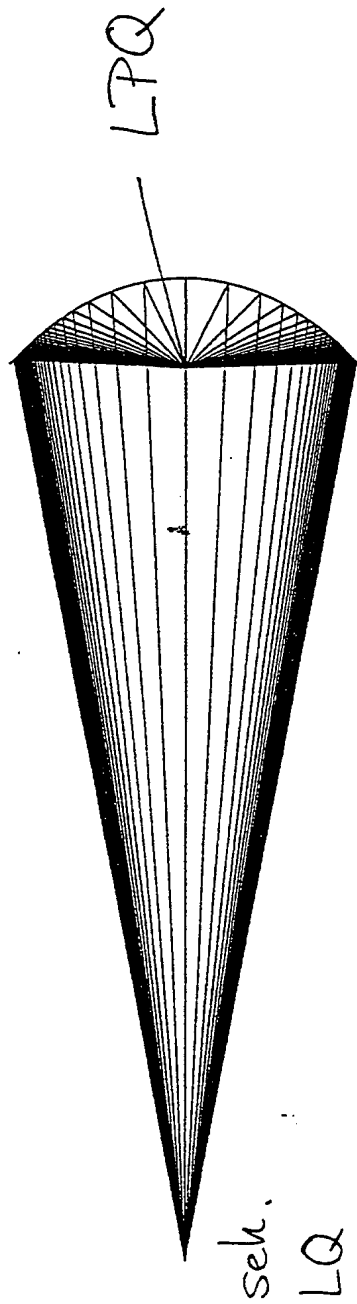
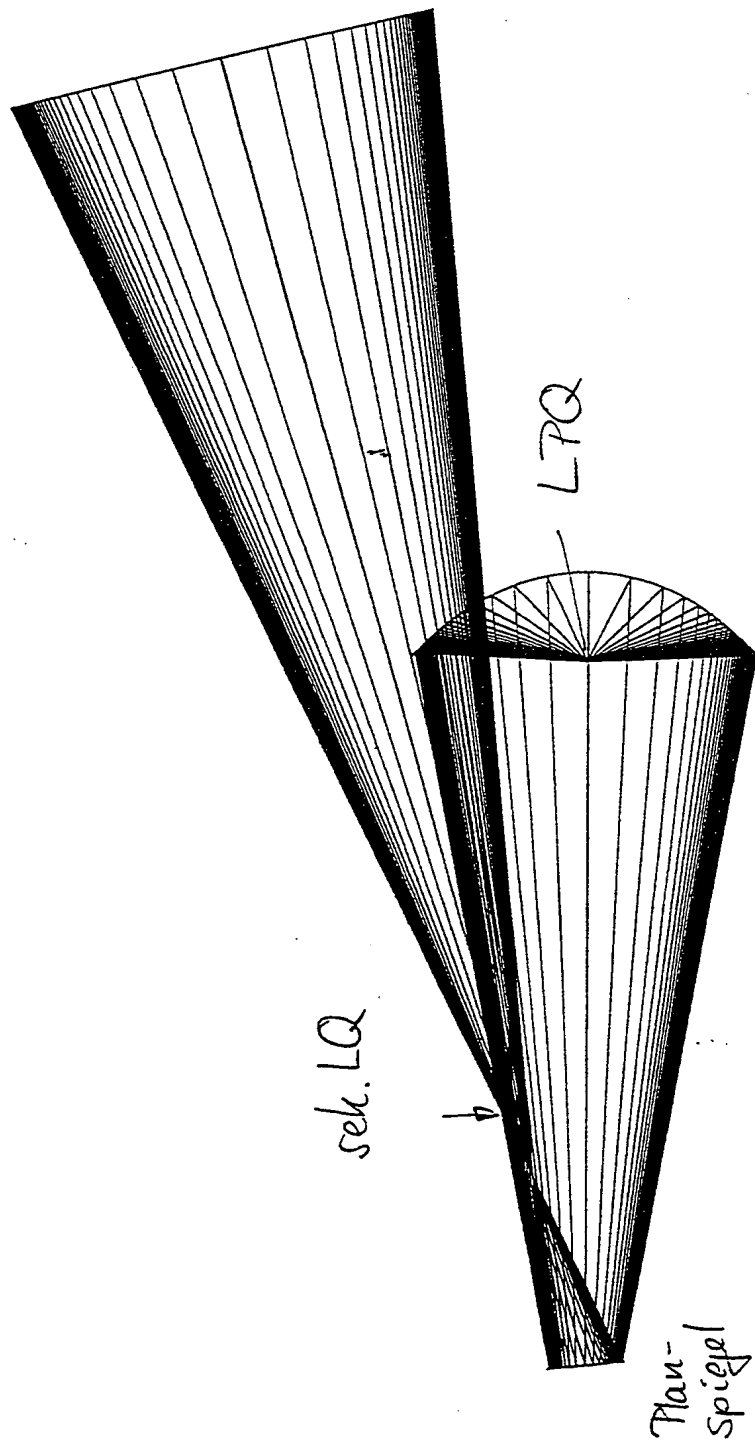


Fig. 2 30



200.00 MM

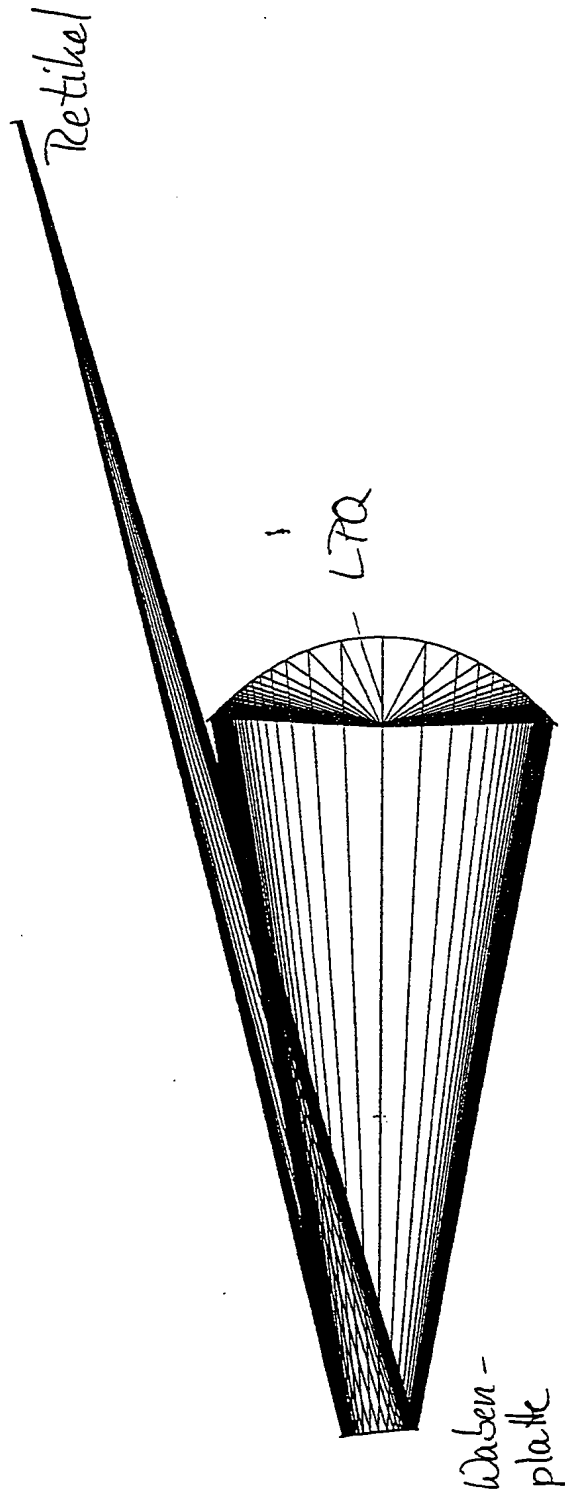


Fig. 31

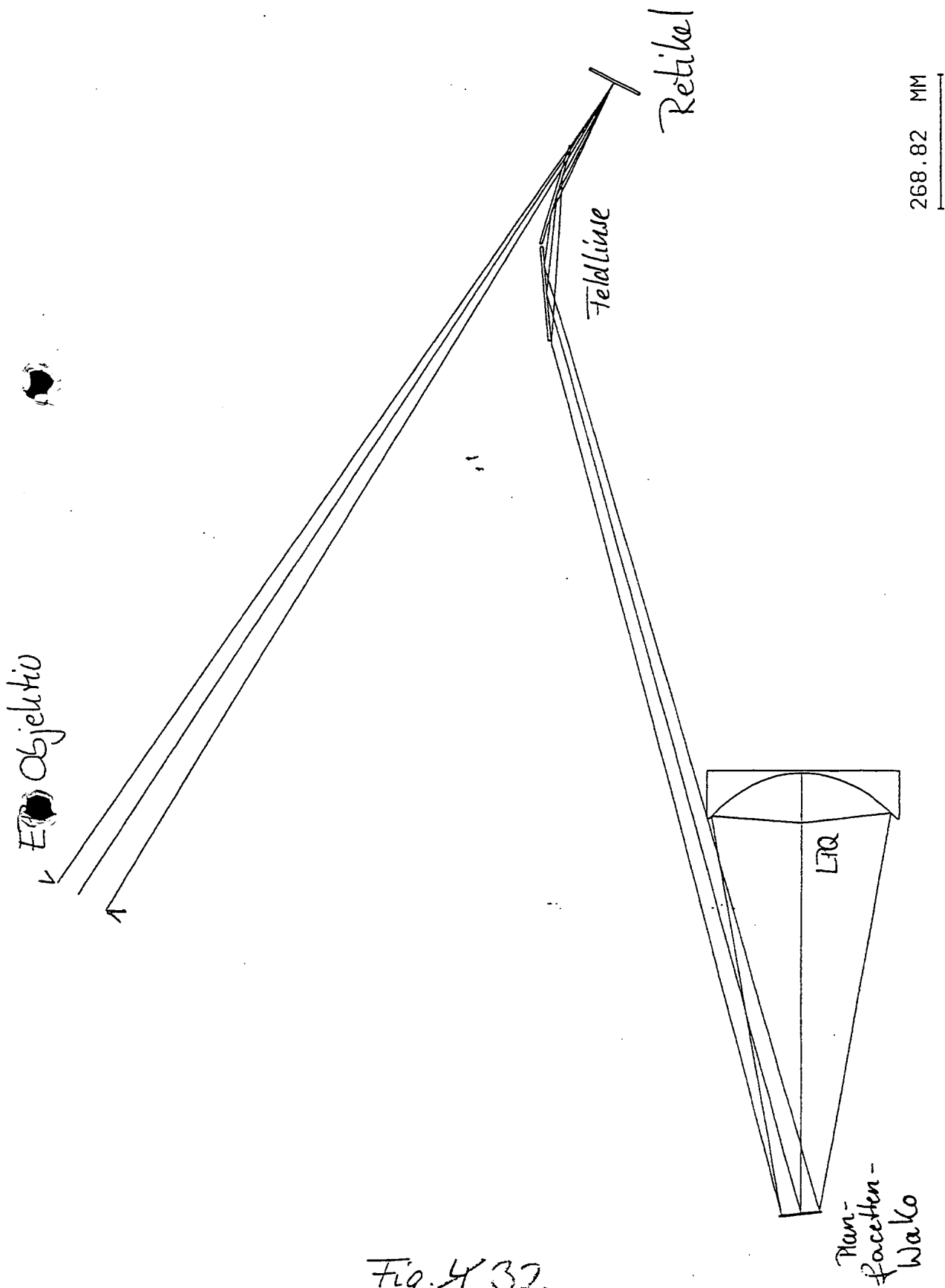


Fig. 432

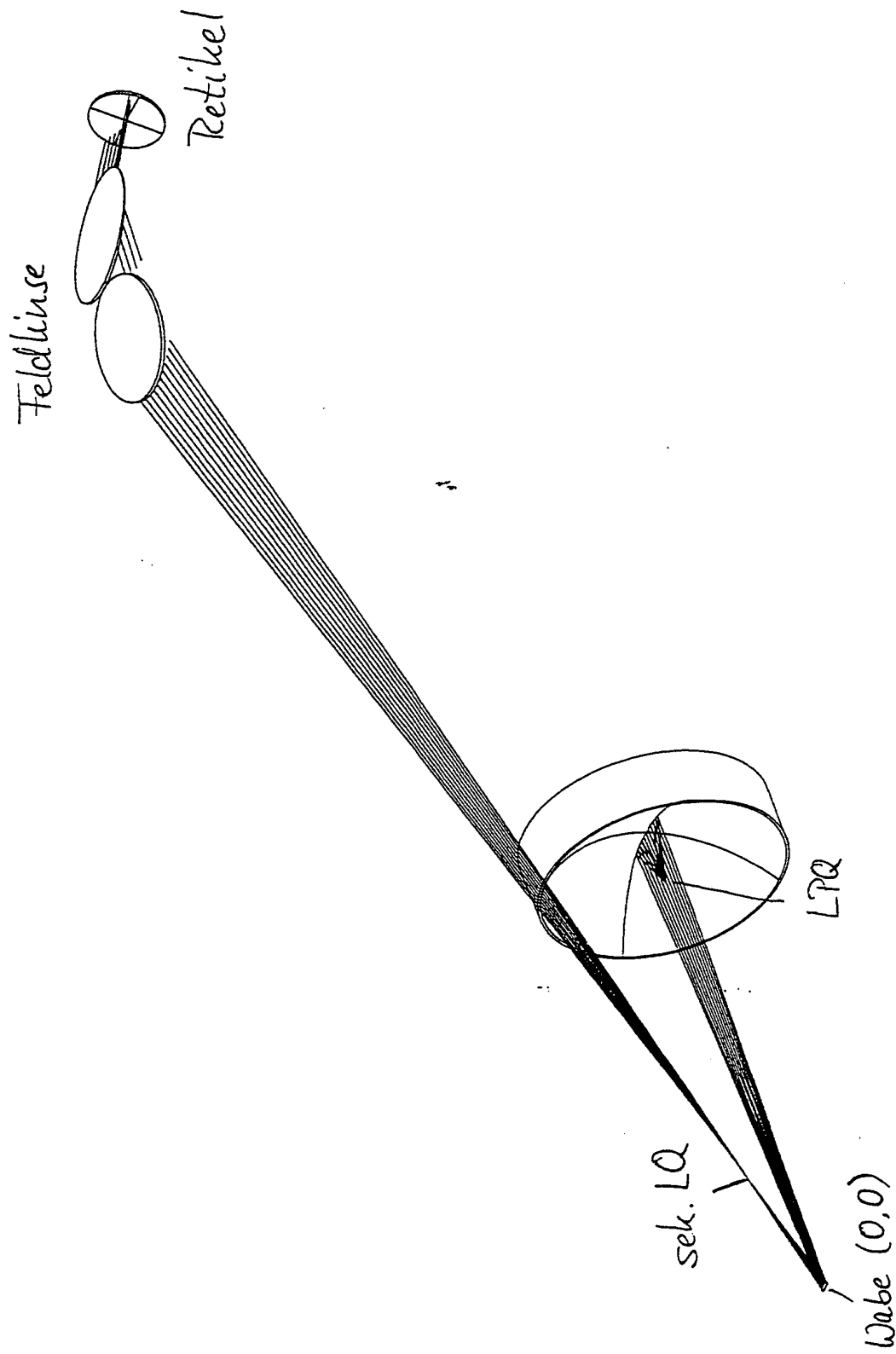


Fig. 8 33

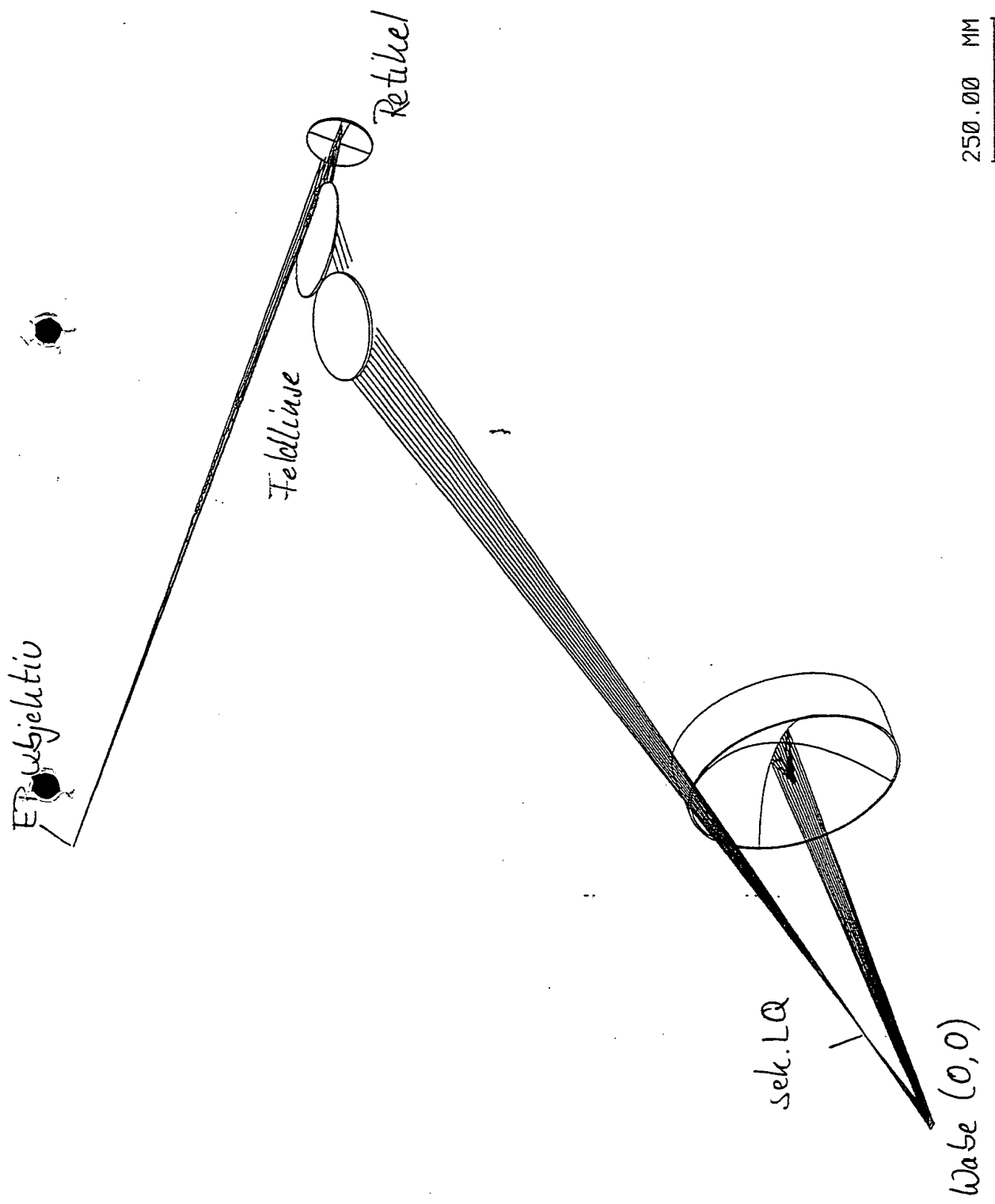


Fig. 6 34

**Ausleuchtung des Retikelfeldes
mit Planfacetten-Wako und Feldlinse**

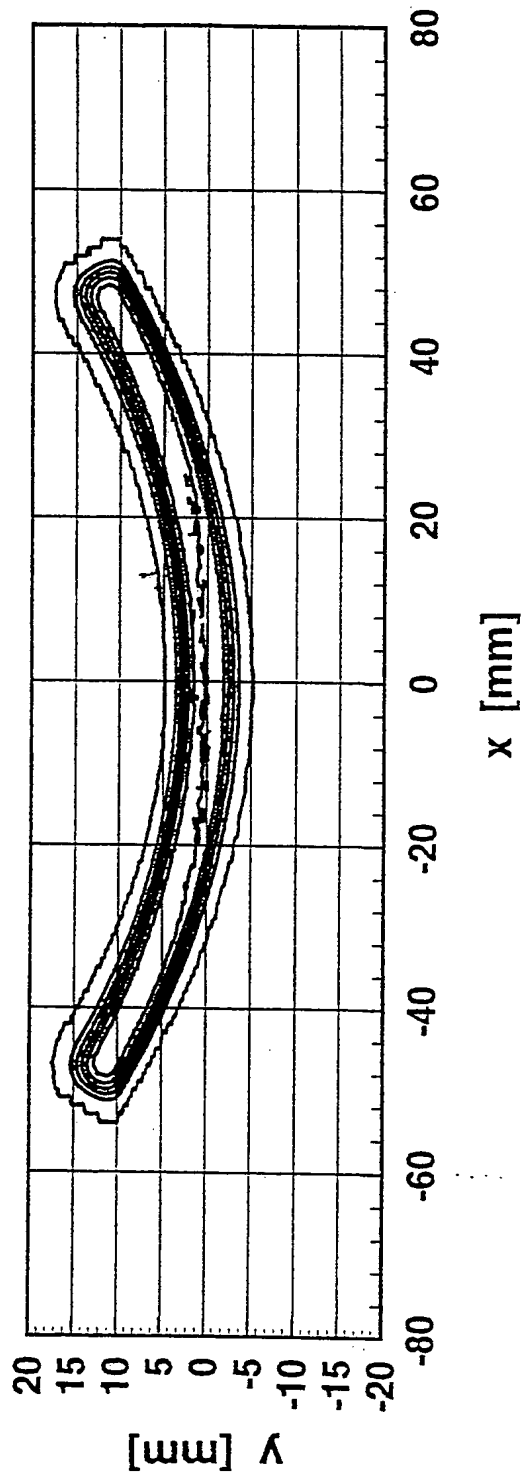
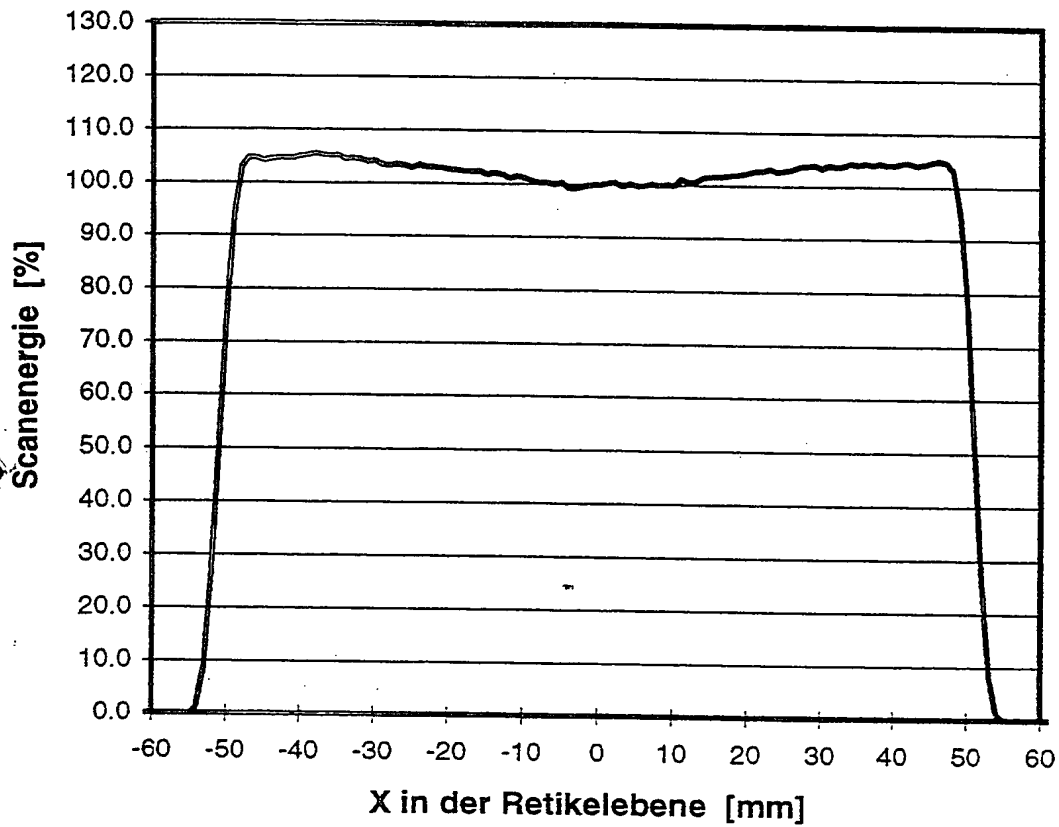
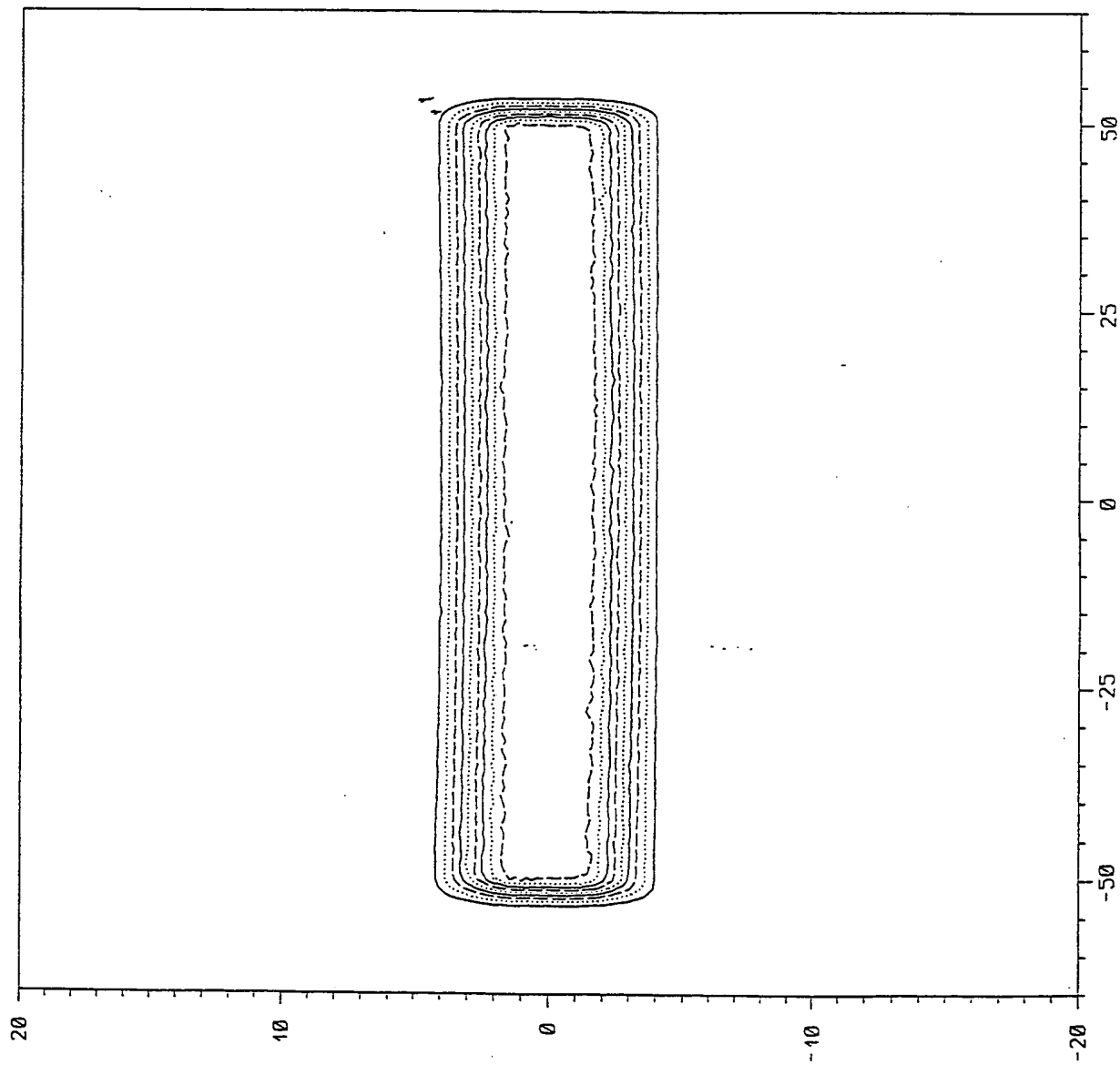


Fig. 7 35

Integrale Scanenergie in der Retikelebene Planfacetten-WaKo mit Feldlinse





Nx = 134
Ny = 204
Xmin = -65.000
Xmax = 65.000
Ymin = -20.000
Ymax = 20.000
Zgem = 13.1
Zmin = .000E+00
Zmax = 120.
P-V = 120.
Rms = 32.7

Anzahl :
DATA = 26331
NO-DATA = 0

Fig. 4137

Nx = 131
Ny = 201
Xmin = -65.000
Xmax = 65.000
Ymin = -20.000
Ymax = 20.000
Zgem = 13.1
Zmin = .000E+00
Zmax = 120.
P-V = 120.
Rms = 32.7

Anzahl :
DATA = 26331
NO-DATA = 0

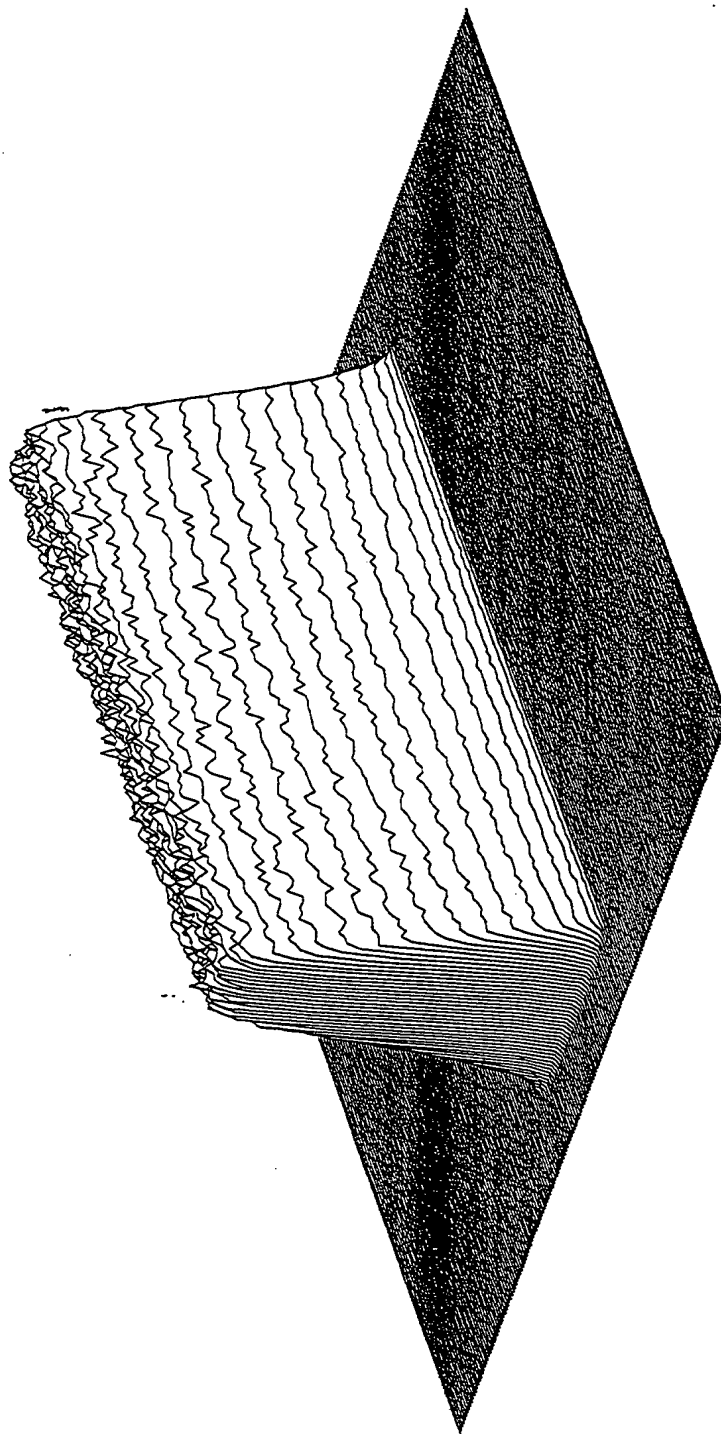


Fig. 1238

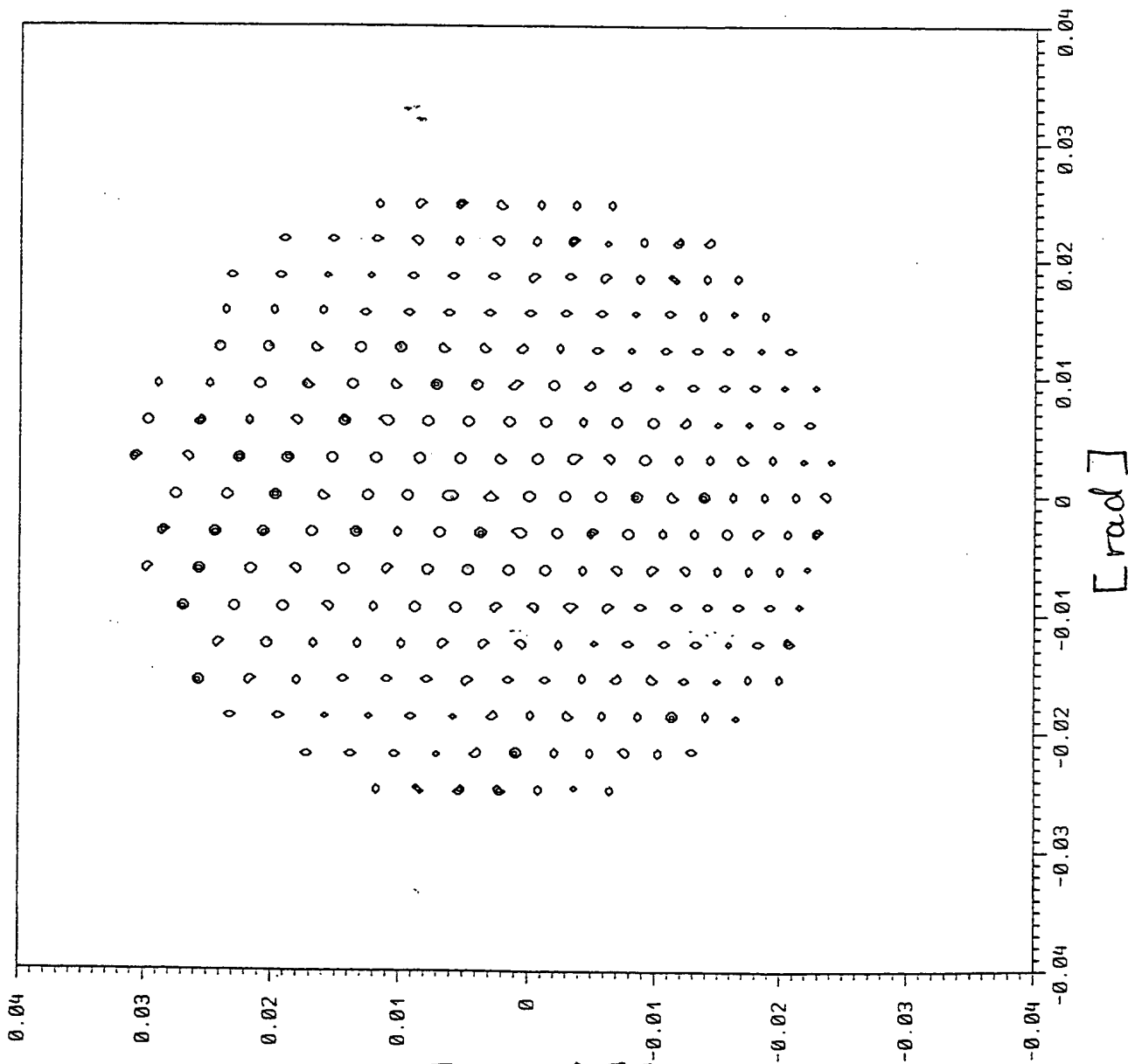


Fig. 13 39

$N_x = 256$
 $N_y = 256$
 $X_{min} = -.040$
 $X_{max} = .040$
 $Y_{min} = -.040$
 $Y_{max} = .040$
 $Z_{gem} = .360E-02$
 $Z_{min} = .000E+00$
 $Z_{max} = 1.00$
 $P-V = 1.00$
 $Rms = .413E-01$

Anzahl :
 DATA = 65536
 NO-DATA = 0

$$X = 0$$

$$Y = 0$$

bez. auf Schwerstrahl

Intensitätsverlauf in Scanrichtung

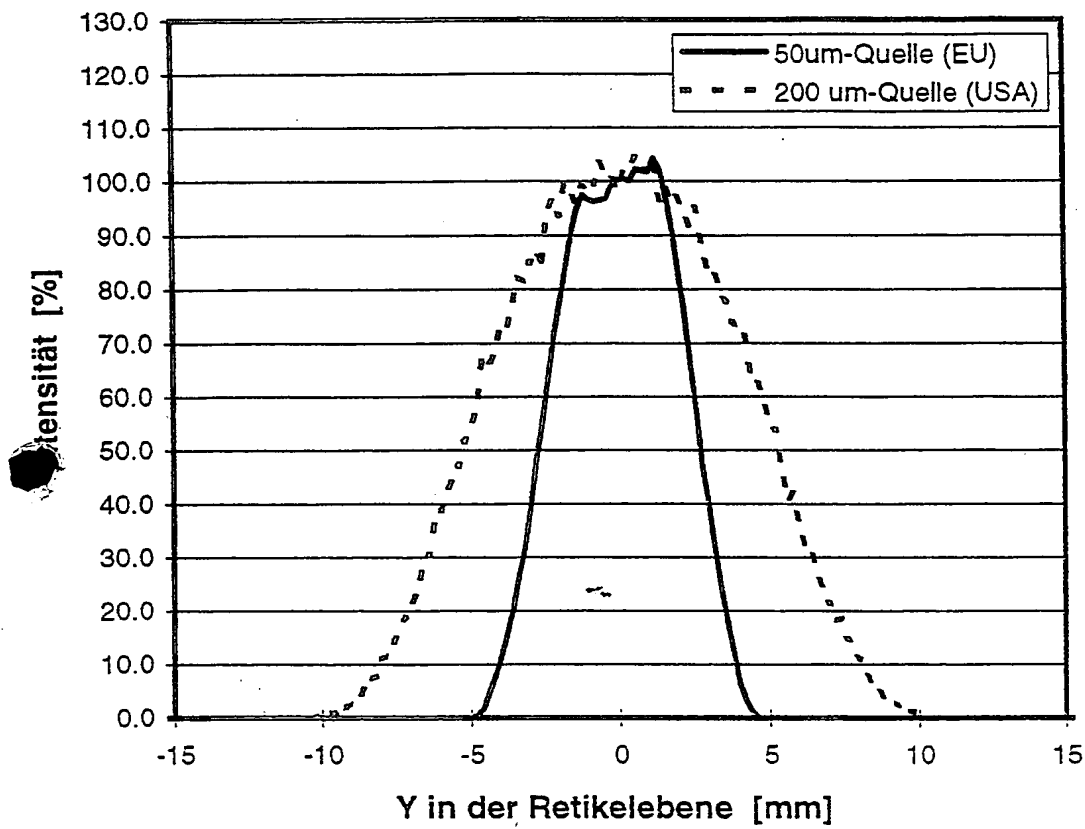


Fig. 28 40